

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв

Технологічні основи машинобудування

Підручник

*Затверджено Вченою радою НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
як підручник для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за напрямом підготовки «Інженерна механіка»
(для спеціальностей: 131 – Прикладна механіка; 133 – Галузеве машинобудування
та інші.)*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

УДК 621.73. 073
T27

*Гриф, надано Вченою радою
КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол №2 від 10 лютого 2020 р.)*

Рецензенти: А. С. Зенкін, д-р техн. наук, проф.,
Київський національний університет технологій і дизайну,
Заслужений діяч науки і техніки України

В. І. Лавріненко, д-р техн. наук, проф., старш. наук. співроб.,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
Національної академії наук України

Відповідальний В. М. Кореньков, канд. техн. наук, доц.,
редактор: Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]:
підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133
«Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв; КПІ
ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). –
Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.**

Розглянуті основи обробки матеріалів різанням, інструментальні матеріали, технологічний процес і його складові, вибір заготовок, припуски на механічну обробку. Наведено класичні схеми базування заготовок на металорізальних верстатах, точність їх обробки, обробка на верстатах різних груп. Розглянуті питання конструювання пристроїв для МРВ, фінішні види обробки, виготовлення різьб, нарізування зубів зубчастих коліс, складання машин та апаратів, типові технологічні процеси виготовлення деталей різних класів.

Призначений для студентів вищих навчальних закладів та спеціалістів в галузі машинобудування.

УДК 621.73. 073

© Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М. 2020
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ, 2020

ВСТУП

Машинобудування – найважливіша галузь промисловості, яка має величезний вплив на розвиток усього народного господарства.

Технологія машинобудування – це наука, яка вивчає закономірності, що виникають при виготовленні машин, з метою використання цих закономірностей для підвищення якості та продуктивності і зниження собівартості машин.

Очевидно, що технологія зародилася дуже давно, ще коли людина почала виготовляти найпростіші знаряддя праці, однак як наука вона оформилась значно пізніше.

У минулому технологія машинобудування дістала найбільший розвиток у майстернях та заводах для виготовлення зброї. Так ще в 1587 р. у Росії майстром Андрієм Чоховим була відлита відома цар-гармата.

У 1632 р. в Тулі виготовлювались гармати, стволи яких свердлились і розточувались.

В епоху Петра I майстер Андрій Нартов розробив ряд технологічних процесів виготовлення зброї, монет, кораблів і створив перший в світі токарний верстат з механічним супортом. Аналогічні процеси проходили в усьому світі, в тому числі на території України. Але особливо необхідно відмітити досягнення Великобританії, Німеччини, пізніше США, а тепер Японії та Китаю.

Разом з тим технологія машинобудування швидко оформлюється як наука. У 1885 р. професор Артилерійської академії І.І. Тіме видав три томи з основ машинознавства. Він перший запропонував формули для розрахунку сил різання та усадки стружки. Професор К.А. Зворикін (перший декан ММФ НТУУ «КПІ») першим розробив схему сил, що діють на різець, з урахуванням сил тертя на передній та задній гранях. Із закордонних учених особливо необхідно відмітити автора потокової системи виробництва Тейлора (США). На території України особливо швидкими темпами науковий розвиток технології машинобудування здійснювався у 30-х роках двадцятого століття.

В галузі технології машинобудування необхідно відмітити роботи таких видатних вчених, як В.М. Кована, А.І. Каширіна, Н.А. Бородачова, А.П. Соколовського, М.Є. Єгорова, Ф.С. Дем'янюка, В.С. Корсакова, А.А. Маталіна, С.П. Митрофанова, С.О. Картавова та багатьох інших.

В галузі різання металів та різних інструментів – В.А. Кривоухова, І.І. Семенченка, С.С. Рудника, Г.І. Грановського, М.М. Зорева, П.Р. Родіна.

В галузі верстатобудування – В.І. Дікушина, Г.А. Шаум'яна, Н.С. Ачеркана, Д.І. Решетова, А.С. Пронікова та інших.

Останнім часом технологія машинобудування бурхливо розвивається на базі комплексної автоматизації виробництва за допомогою верстатів з числовим програмованим керуванням (ЧПК), роботів і гнучких виробничих систем.

Може виникнути питання, навіщо студентам, переважно майбутнім конструкторам хімічних машин і апаратів, вивчати технологію машинобудування?

Загальновідомо, що досконалість конструкції машин та апаратів визначається не тільки їх відповідністю сучасному рівню техніки, продуктивністю та надійністю, але і можливістю застосувати при їх виготовленні найбільш продуктивні та економічні способи виробництва з урахуванням річної програми випуску і конкретних умов, тобто їх технологічності.

Недооцінка технологічності машин приводить до підвищення їх вартості. Наприклад, конструктор може розробити деталь із закритим отвором, важкодоступним для різального і міряльного інструменту. Таку деталь надзвичайно важко виготовити. Більш технологічно і дешево передбачити відкритий отвір або забезпечити вільний доступ до нього інструмента іншим шляхом.

Дуже актуальною в технології машинобудування є проблема підвищення точності виготовлення виробів, адже вартість оброблення поверхні деталі збільшується приблизно пропорційно квадратові точності, тобто при підвищенні точності у 2 рази вартість обробки збільшується в 4 рази і т. д. Тому точність та шорсткість поверхонь деталей повинна призначатись економічно обґрунтовано, з урахуванням затрат на виготовлення машин та наступного ефекту від їх експлуатації.

Для того, щоб спроектована машина відповідала вимогам технологічності, необхідно добре засвоїти основи технології машинобудування і враховувати її положення. Крім того, кожне розроблене конструктором креслення виробу повинно затверджуватися відділом головного технолога заводу і проектанту часто доводиться застосовувати весь арсенал знань, щоб довести правильність прийнятого рішення.

Чому ж основна рекомендована література із загального машинобудування, а не спеціальна? Тому, що всі машини, як правило, складаються з однотипних деталей: корпусів, валів, втулок, шківів, кріпильних деталей тощо. Крім того, в хімічному машинобудуванні знаходять широке застосування резервуари різних видів, плоскі та об'ємні рамні конструкції тощо, які виготовляють, в основному, з листового та іншого прокату.

1. ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

1.1. Види рухів та геометрія різального інструмента

1.1.1. Основні рухи, які виконуються на металорізальних верстатах

При обробці металів різанням оброблювана заготовка та інструмент переміщуються один відносно іншого. Умовно всі рухи на металорізальних верстатах (МРВ) можна розділити на формоутворюючі (робочі), установчі та ділильні.

Тіло будь-якої деталі є замкнутий простір, обмежений реальними геометричними поверхнями, отриманими в результаті обробки деталі тим чи іншим технологічним способом (литтям, штампуванням, різанням і так далі), які завжди будуть відрізнятися від ідеальних геометричних поверхонь. Поверхні, отримані різанням на металорізальних верстатах, будуть відрізнятися від ідеальних відхиленнями від правильності форми і точності розмірів, а також шорсткістю.

Процес утворення різанням реальних поверхонь базується на ідеалізованому геометричному процесі, в якому поверхня розглядається як слід, який залишає одна виробляюча геометрична лінія, яка зветься створюючою, при її русі по іншій геометричній лінії – направляючої.

Будь-яка реальна поверхня деталі є наближенням до ідеальної геометричній поверхні і може бути представлена сукупністю кількох елементарних поверхонь (рис. 1.1).

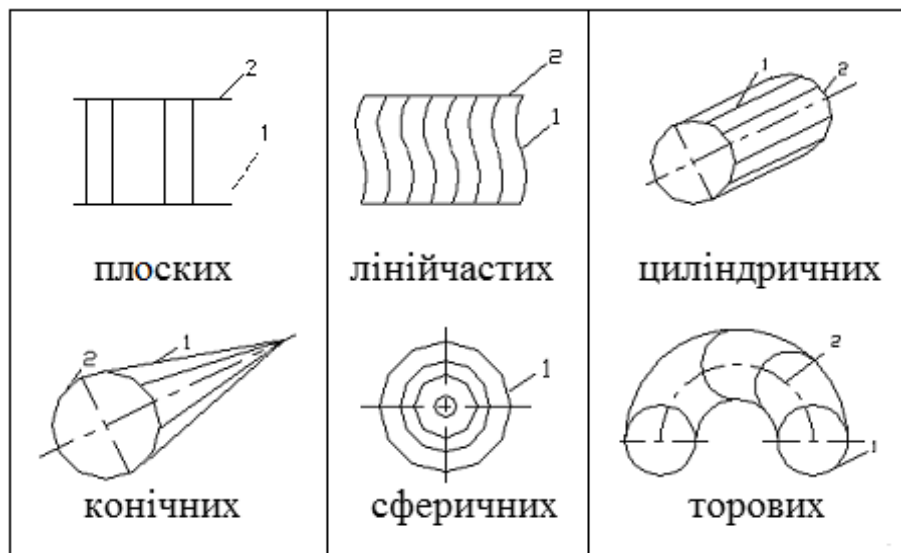


Рис. 1.1. Види елементарних поверхонь

Таким чином, для отримання таких поверхонь на металорізальних верстатах необхідно отримати створюючу лінію 1 і забезпечити її рух по направляючій лінії 2, тобто заготовці та інструменту необхідно повідомити відносні узгоджені рухи, рухи формоутворення.

У залежності від форми виробляючої (створюючої) лінії і методу її утворення, рухи формоутворення можуть бути простими або складними.

До простих рухів формоутворення відносяться обертальні (О), і поступальні (П), кожне з яких може бути отримано за рахунок одного елементарного руху, причому ці рухи не залежать один від одного.

До складних рухів формоутворення відносяться рухи, яких можуть бути отримані за рахунок двох і більше елементарних рухів, причому ці рухи залежать один від іншого. Під слідом розуміється безперервна кількість послідовних положень у просторі утворюваних рухомою створюючою лінією.

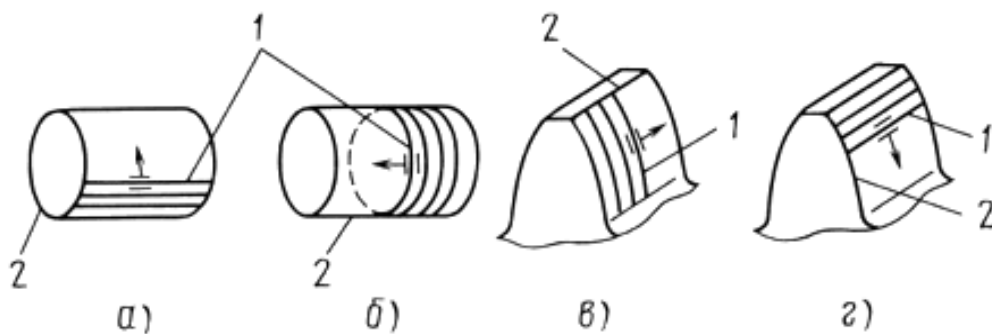


Рис. 1.2. Утворення поверхонь створюючою лінією:
1 – створюючою; 2 – направляючою

Наприклад, поверхня круглого циліндра може бути представлена як слід створюючою прямою при русі її по направляючій (рис. 1.2, а) окружності або, навпаки, створюючою окружністю при її русі по направляючій прямій (рис. 1.2, б).

Аналогічно бокову поверхню зуба прямозубого циліндричного колеса можна розглядати як слід створюючої евольвенти при переміщенні її по направляючій прямій (рис. 1.2, в) або, навпаки, створюючою прямою при переміщенні її по направляючій евольвенті (рис. 1.2, г).

Будь-яка деталь або заготовка має замкнутий простір, обмежений реальними геометричними поверхнями, які утворені в результаті її обробки тим чи іншим технологічним способом (литтям, штампуванням, різанням і т. д.).

При цьому отримані реальні поверхні деталі на металорізальних верстатах різанням, відрізняються від ідеальних відхиленнями від правильності форми, точністю розмірів і величиною шорсткості.

Теоретично процес формування реальних поверхонь на верстатах різанням базується на ідеальних уявленнях про поверхні в геометрії, в якій будь-яка поверхня представляється у вигляді безперервної множини послідовних місцеположень (або сліду) однієї рухомої геометричної лінії, званої створюючою, по іншій, званої направляючої [32, 41].

До робочих рухів відносять головний рух різання та рухи подачі.

Установчі рухи – для того, щоб привести інструмент та заготовку у положення, яке забезпечує зрізування припуску і отримання заданого розміру обробки. Якщо при цьому відбувається різання, то це рух врізання, якщо ні – то це рух налагоджування.

Ділильні рухи – для повороту заготовки на заданий кут. Їх можуть виконувати окремі ділильні пристрої або поворотні частини верстатів.

Згідно з ГОСТ 25762-83 робочі рухи розділяються на такі:

Головний рух різання D_c – прямолінійний поступально-зворотний або обертовий рух заготовки чи різального інструмента, який відбувається з найбільшою швидкістю в процесі різання. На його здійснення витрачається біля 98 % усієї потужності, що витрачається при різанні. Основна характеристика ГРР (D_c) – швидкість різання V , що визначається для лезового інструменту в м/хв, а для абразивного (при процесі шліфування) – в м/с.

ГРР може бути обертовим (заготовка при точінні, інструмент при свердлінні, фрезеруванні, шліфуванні), поступально-зворотним (при струганні, довбанні, протягуванні) і рідко виконуватися за більш складною траєкторією.

Рух подачі D_s – прямолінійний поступовий або обертовий рух різального інструменту (PI) або заготовки, призначений для періодичного або безперервного розповсюдження процесу відділення шару металу на всю оброблювану поверхню. Наприклад, це періодична подача інструмента ΔS , ΔS_1 , ΔS_2 на подвійний хід стола при струганні (рис. 1.3), або безперервна поздовжня (рис. 1.4, а), чи поперечна (рис. 1.4, б) подача різця при точінні.

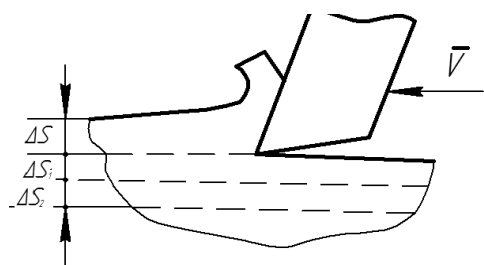


Рис. 1.3. Напрямок головного робочого руху V і дискретної подачі ΔS при струганні

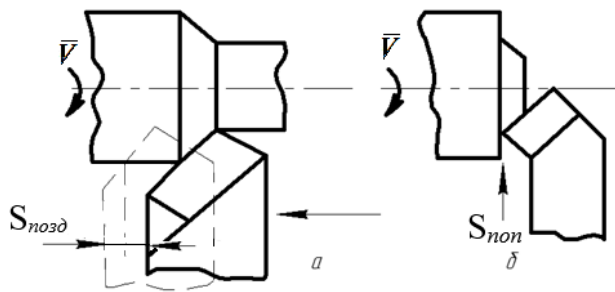


Рис. 1.4. Головний робочий рух n та безперервна поздовжня (а) і поперечна (б) подачі при точінні

При обробці фасонних і конічних поверхонь на токарних верстатах можуть одночасно виконуватись і поздовжня і поперечна подачі.

При фрезеруванні торцевими фрезами можуть виконуватись три подачі (рис. 1.5): безперервна $S_{позд}$, за допомогою стола, та періодична S_n або S_e на подвійний перехід стола.

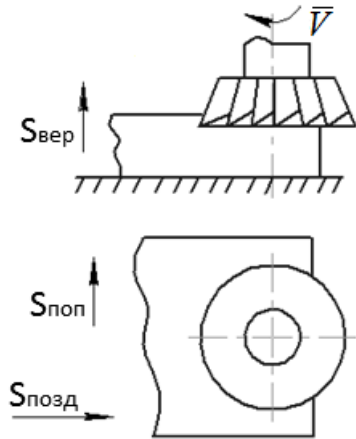


Рис. 1.5. Напрями головного робочого руху n та подач при фрезеруванні

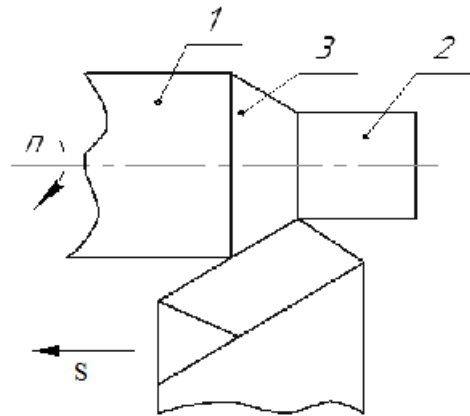


Рис. 1.6. Поверхні на заготовці, яка оброблюється точінням

Основна характеристика руху подачі – подача S , що вимірюється:

- при точінні – у мм на оберт заготовки S_o , мм/об;
- при свердлінні – у мм на оберт свердла S_o , мм/об;
- при фрезеруванні – у мм на оберт фрези S_o , мм/об;
- при струганні – у мм на подвійний хід стола або інструмента S_{2x} , мм/2х.

Однак при обробці багатолезовим інструментом S_o не завжди характеризує умови роботи одного зуба інструмента (є летючі фрези з одним зубом і фрези з 16 і більше зубами), тому також задають подачу на один зуб S_z , мм/зуб.

Для розрахунку основного часу обробки T_o застосовують ще і хвилинну подачу S_{xb} , мм/хв.

Якщо n частота обертання шпинделя в об/хв і інструмент має z зубів, то усі три подачі зв'язані між собою залежностями:

$$S_{xb} = S_o n = S_z z n$$

Крім розглянутих двох ГОСТ 25762-83 передбачає ще й дотичний рух D_k (зустрічається рідко) та результуючий рух різання D_e – це сумарний рух РІ відносно заготовки, що включає D_z , D_s та D_k . Усі ці рухи, відповідно, мають швидкості \bar{V} , \bar{V}_s , \bar{V}_z , \bar{V}_k .

Розглянуті рухи, як правило, виконуються механічно (іноді D_s – вручну).

1.1.2. Поверхні на оброблюваній заготовці

На оброблюваній заготовці розрізняють (ГОСТ 25762-83) такі поверхні (рис. 1.6): 1 – *оброблювана* (ГОСТ 3.1109-82) – поверхня, що підлягає дії (впливові) в процесі обробки (при обробці різанням це поверхня, з котрої зрізають шар металу); 2 – *оброблена* – це поверхня, яка утворилась на заготовці в результаті обробки; 3 – *поверхня різання* – це поверхня, що утворюється різальною кромкою інструмента при результуючому русі різання (вона є перехідною між оброблюваною і обробленою поверхнями).

1.1.3. Поверхні на різальному інструменті

Розглянемо на прикладі токарного різця, який є типовим представником усіх різальних інструментів (РІ), тому, що будь-який з них складається з елементів, властивих для токарного різця. Різець складається з різальної частини (леза) та державки (тіла або стержня). Різальна частина складається (рис. 1.7) з передньої 1 та задньої 2 і 3 поверхонь.

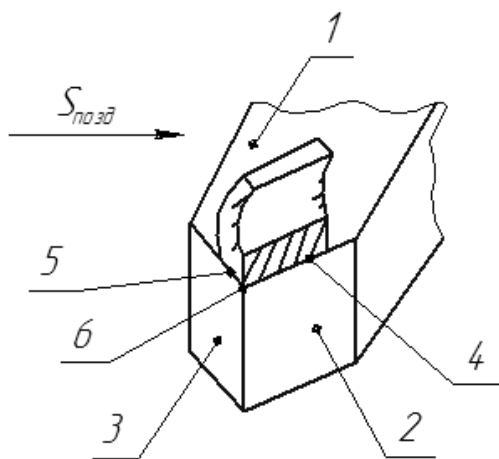


Рис. 1.7. Поверхні та інші елементи різальної частини інструмента

Передньою поверхнею різучого лека 1 називається поверхня лека інструмента, яка в процесі різання контактує зі зрізуваним шаром металу і стружкою, тобто по якій сходить стружка.

Задня поверхня лека РІ (2 і 3) – це поверхня, яка в процесі різання контактує з поверхнями заготовки. При пересіканні передньої і задньої поверхонь лека утворюється різальна кромка. Вона може складатися з декількох менших кромок.

Задня поверхня лека може мати декілька ділянок.

- *Головна задня поверхня* 2 (A_a) – це частина задньої поверхні лека інструмента, що прилягає до головної різальної кромки.
- *Допоміжна задня поверхня* 3 (A'_a) – це частина задньої поверхні лека інструмента, яка прилягає до допоміжної різальної кромки.
- *Вершина лека* 6 – це частина різальної кромки в місці пересічення двох задніх поверхонь.

Головна різальна кромка K – це частина 4 різальної кромки, котра формує більшу сторону перерізу зрізуваного шару, тобто виконує основну роботу різання.

Допоміжна різальна кромка K' – це частина 5 різальної кромки, котра формує меншу сторону перерізу зрізуваного шару.

1.1.4. Основні види інструментів та їх геометричні параметри

При обробці заготовок на МРВ застосовують інструменти різних конструкцій і призначення: різці, свердла, зенкери, розвертки, фрези, протяжки, різьбо- та зубооброблювальні інструменти, абразивні інструменти. Незважаючи на велику кількість РІ, усім їм властивий спільний елемент – різальний клин, геометрію якого розглянемо на прикладі токарного різця.

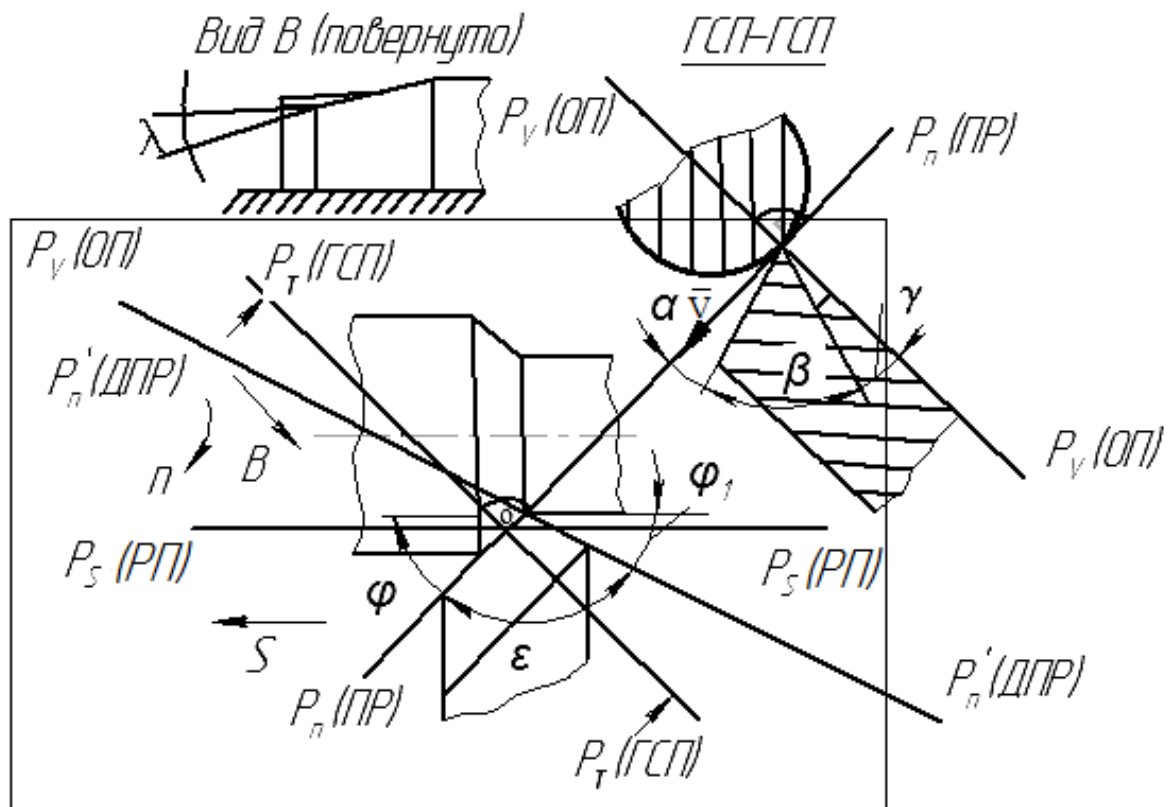


Рис. 1.8. Геометричні параметри різальної частини інструмента

Геометричні параметри різальної частини інструмента – це кути заточки його клиноподібного леза, які впливають на процес різання.

На рис. 1.8 у розглядуваній точці O головної різальної кромки вектор швидкості \bar{V} головного руху різання направлений перпендикулярно до

площини рисунка (на виді зверху), а напрям вектора швидкості подачі \vec{V}_S співпадає з напрямом подачі різця S .

Для визначення кутів заточки леза інструмента необхідно навести визначення таких площин.

Робоча площина P_s (РП) – площина, в якій розміщені напрями швидкостей головного руху \vec{V} різання і руху подачі \vec{V}_S .

Кути різців та інших РІ заміряють в основній площині, площині різання і головній січній площині.

Основна площина P_v (ОП) – координатна площина, яка проведена через розглядувану точку різальної кромки перпендикулярно до напрямку швидкості головного \vec{V} або результуючого \vec{V}_Σ руху в цій точці. При обертovому ГРР (D_z) вона проходить через вісь обертання і досліджувану точку О.

Площина різання P_n (ПР) – координатна площина, яка є дотичною до різальної кромки в розглядуваній точці (рис. 1.9).

Площина різання перпендикулярна до основної площини P_v . У цій площині знаходиться вектор швидкості \vec{V} ГРР.

Допоміжна площина різання P'_n (ДПР) – координатна площина, яка є дотичною до допоміжної різальної кромки і перпендикулярна до основної площини P_v . У цій площині знаходиться вектор швидкості \vec{V} ГРР.

Головна січна площина P_τ (ГСП) – координатна площина, перпендикулярна до лінії перерізу основної площини P_v і площини різання P_n .

В основній площині знаходяться кути в плані – φ , φ_1 , ε .

Головним кутом у плані φ називають кут між площиною різання P_n і робочою площиною P_s .

Допоміжним кутом у плані φ_1 називають кут між допоміжною площиною різання P'_n і робочою площиною P_s .

Кутом при вершині в плані ε називають кут між площинами різання P_n і P'_n .

У площині різання P_n вимірюють кут нахилу різальної кромки λ . Це кут між різальною кромкою і основною площиною P_v . Кут λ вважають додатнім, коли вершина різця є найнижчою точкою різальної кромки;

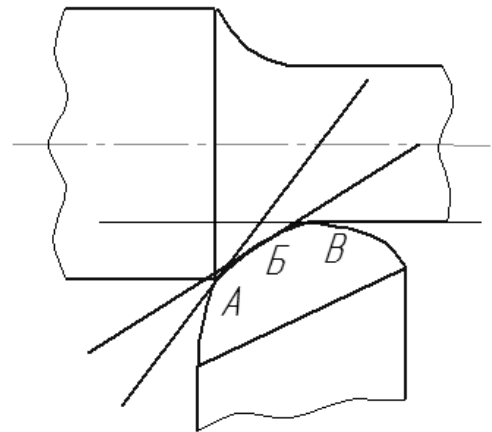


Рис. 1.9. Зміна положення площини різання в точках А, Б і В при криволінійній різальній кромці

від'ємним, коли вершина різця є найвищою точкою РК; нульовим, коли різальна кромка паралельна до P_v .

У головній січній площині P_r знаходяться головні кути α , β , γ .

Головним заднім кутом α називають кут між головною задньою поверхнею леза і площиною різання P_n .

Головним кутом загострення β називають кут між передньою і головною задньою поверхнями леза.

Головним переднім кутом γ називають кут між передньою поверхнею леза і основною площиною P_v . Його вважають додатнім, коли вершина різця є найвищою точкою леза в ГСП, і від'ємним, коли найнижчою.

Які значення можуть приймати розглянуті кути?

Головний кут у плані ϕ завжди додатній. Для токарних різців $\phi = 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ$. Зі збільшенням кута ϕ зростає питоме навантаження на різальну кромку, але зменшується радіальна складова P_y сили різання. Тому $\phi = 90^\circ$ при обробці нежорстких валів.

Допоміжний кут у плані $\phi_1 = 10\text{--}15^\circ$ для різців загального призначення і $\phi_1 = 45^\circ$ для відігнутих прохідних різців.

Задній кут $\alpha = 5\text{--}15^\circ$ (переважно $7\text{--}12^\circ$) для всіх інструментів за виключенням фасонних, котрі переточуються по передній поверхні. Кут α завжди додатній.

Передній кут γ може бути і додатнім і від'ємним (рис. 1.10). При обробці м'яких в'язких матеріалів $\gamma = 10\text{--}15^\circ$, чавунів $\gamma = 0\text{--}5^\circ$, загартованих сталей $\gamma = -10^\circ$.

Кут λ впливає на напрям сходу стружки. Найчастіше $\lambda \approx 0^\circ$.

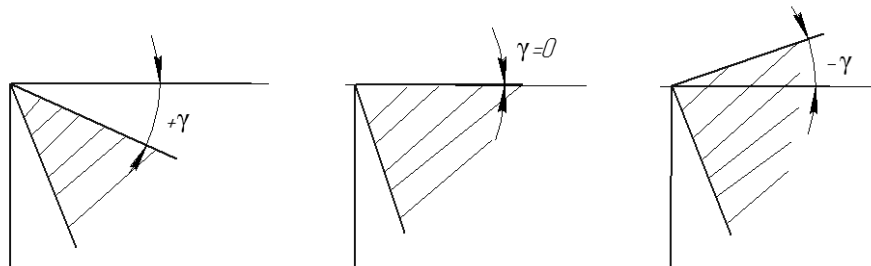


Рис. 1.10. Додатній, нульовий та від'ємний передні кути

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які види рухів формоутворення ви знаєте?
2. Які види рухів виконуються на металорізальних верстатах?
3. Назвіть поверхні на оброблюваній заготовці і на ріжучому інструменті.
4. Назвіть основні види інструментів і їх геометричні параметри.

1.2. Інструментальні матеріали

1.2.1. Вимоги до інструментальних матеріалів

Якість інструментальних матеріалів (ІМ) дуже сильно впливає на продуктивність обробки та інші характеристики процесу різання. Під час різання контактні площадки інструмента піддаються дії високих силових навантажень та температур, які в процесі обробки безперервно змінюються і приводять до виникнення та протікання інтенсивних фізико-хімічних явищ: абразивного зношення, адгезії, дифузії, структурних змін, окислювання, корозії тощо.

Для успішного протікання процесу різання інструментальні матеріали повинні відповідати таким вимогам:

- мати високу міцність, тобто зберігати необхідну форму леза протягом всього періоду обробки, незважаючи на дію високих силових навантажень (до $2 \cdot 10^4$ МПа) та температур (до 900 °C і більше);
- мати високу окалинотійкість, тобто чинити опір окисленню при нагріванні до високих температур;
- мати високу твердість, яка для успішного процесу різання повинна перевищувати твердість оброблюваного матеріалу в 2–3 рази, але не менше ніж в 1,4–1,7 разу;
- мати високу зносостійкість, тобто чинити опір вириванню часток ІМ з тіла інструмента внаслідок абразивної дії (тобто стираючої дії твердих часток з боку оброблюваного матеріалу при високій температурі), адгезії (внаслідок схоплювання (зварювання) контактних поверхонь ІМ та оброблюваного матеріалу при високих тисках і температурах з наступним руйнуванням зон схоплення при відносному переміщенні матеріалів), дифузії (тобто коли атоми інструментального матеріалу внаслідок розм'ягчення контактних поверхонь при високих температурах активно проникають (дифундують) в оброблюваний матеріал);
- мати високу теплостійкість та теплопровідність (тобто зберігати високі фізико-механічні властивості при високих температурах і інтенсивно відводити тепло з зони різання, що сприяє зниженню загальної температури в зоні різання);
- добре оброблюватись лезовим та абразивним інструментом як у сирому, так і, особливо, в термічно обробленому стані;
- бути дешевими та доступними.

Як інструментальні матеріали найчастіше застосовують вуглецеві інструментальні сталі, леговані інструментальні сталі, швидкорізальні

сталі, металокерамічні тверді сплави, мінералокерамічні пластини, надтверді матеріали (НТМ) на базі кубічного нітриду бору (КНБ), синтетичні та природні алмази. Загальні характеристики інструментальних матеріалів наведені в табл. 1.1 [1].

1.2.2. Вуглецеві інструментальні сталі

Інструментальні вуглецеві сталі за змістом вуглецю і твердості поділяються на низьковуглецеві, де зміст вуглецю може бути до 0,25 %; середньовуглецеві – де зміст вуглецю коливається від 0,25 % до 0,6 % і високовуглецеві – від 0,6 % до 2 %.

Вуглецеві інструментальні сталі У7, У8, У10А, У13А (позначаються літерою “У”, після якої стоїть вміст вуглецю в десятих долях відсотка, “А” – якісна). Їх застосовують для виготовлення слюсарного інструменту (молотків, напилків, ножівок) і рідше для різальних інструментів, які працюють з малими швидкостями різання (до 10 м/хв) – мітчиків, плашок тощо. При температурі 200–250 °С ці сталі втрачають свою твердість, яка після гартування і низькотемпературного відпуску складає 60–63 HRC.

Перевагою інструментальних вуглецевих сталей є їх добра оброблюваність, невисока твердість (160–180 HB). Однак вони мають і великі недоліки: невеликий інтервал гартівних температур, необхідність швидкого охолодження в воді при загартуванні, що призводить до викривлення, деформації інструментів і навіть до утворення тріщин. Їх перевага – низька вартість.

1.2.3. Леговані інструментальні сталі

Леговані інструментальні сталі за хімічним складом відрізняються від високоякісних вуглецевих нелегованих сталей наявністю одного або декількох легуючих елементів: хрому (Х), вольфраму (В), ванадію (Ф), кобальту (К), молібдену (М), кремнію (С), марганцю (Г) та ін. Ці сталі позначаються числом, що характеризує наявність вуглецю в десятих частках відсотка (якщо на початку позначення цифра відсутня, то наявність вуглецю становить ~ 1 %), за яким проставлені літери, що позначають легуючі елементи з цифрами їх вмісту у відсотках.

Леговані сталі за структурою в нормалізованому стані підрозділяються на п'ять класів:

- 1) перлітний,
- 2) мартенситний;
- 3) карбідний (ледебуритного);
- 4) феритний;
- 5) аустенітний.

Таблиця 1.1

Загальні характеристики інструментальних матеріалів

Матеріал	Твердість, HRA (HRC)	Твердість, HV, ГПа	Межа міцності при згинанні σ_z , МПа	Межа міцності стисканні $\sigma_{ст}$, МПа	Тепло- стійкість, °C
1	2	3	4	5	6
Інструментальні сталі:					
інструментальна нелегована (вуглецева)	82–83 (61–63)	–	1950–2300	до 3500	200–250
-легована інструментальна	83–84 (63–65)	–	2200–3400	до 3800	250–400
-швидкорізальна	83–87 (63–70)	13–16	до 4000	до 4000	600–700
Тверді сплави (з карбідами вольфраму)	88–92	17–24	до 2000	до 5900	800–1100
Мінерало- кераміка:					
-оксидна- змішана (кермети)	90–94 до 95	30 39	до 950 до 980	до 3000 до 5600	1200 900–1100
Кубічний нітрид бору	-	60–80	до 1000	до 6500	1100– 1300
Алмаз:					
-природний	-	100,6	210 – 490	2000	700–800
-синтетичний	-	86–100	до 300	до 3000	700–800
Електрокорунд	-	22–24	270	760	-
Карбід кремнію	-	27–35	100–150	1000–2000	1200– 1300
Карбід бору	-	37–45	300	1800	500–700
Карбід вольфраму	-	21	560	2460	1300
Карбід титану	-	32	620	1380	1530
Карбід танталу	-	15,5–16,5	-	1050	1730
Кобальт	-	1,7	-	1250	-

Стали перлітного класу містять 5–6 % легуючих елементів. Вони в основному застосовуються як конструкційні сталі.

Стали мартенситного і карбідного класів містять велику кількість легуючих елементів (до 24 %). Ці сталі застосовуються в основному для виготовлення інструментів.

Стали феритного і аустенітного класів не відчують фазових перетворень і застосовуються як стали з особливими фізичними властивостями (магнітні, жаростійкі, нержавіючі, немагнітні і т.д.).

Застосовують такі леговані інструментальні сталі [1]: X, 9XC, XBГ, X6BФ, 11XФ, X12Ф1, XBСГФ, 7XГ2BMФ, 9X5BФ, 12X1. Їх загальні характеристики наведені в табл. 1.1.

1.2.4. Швидкорізальні сталі

Ці сталі з'явилися на початку минулого століття і широко застосовуються до цих пір. Їх позначають літерою «Р», після якої стоїть вміст вольфраму у відсотках, та іншими літерами з вмістом легуючих елементів у відсотках. Швидкорізальні сталі є одним з основних матеріалів для виготовлення різального інструменту незважаючи на те, що інструменти з твердих сплавів та кераміки забезпечують вищу продуктивність та зносостійкість. Швидкорізальні сталі відрізняються від легованих інструментальних вмістом до 30 % карбідоутворюючих елементів (вольфраму, молібдену, ванадію та ін.), які значно підвищують їх різальні властивості.

У позначенні швидкорізальної сталі не вказують масову частку: хрому (при будь-якому вмісті), молібдену (до 1 %), ванадію (до 2 %), вуглецю (до 1 %). Якщо вміст вуглецю перевищує 1 %, то перед літерою Р проставляють його вміст у десятих долях відсотка, наприклад, 11P3AM3Ф2 (1,1 % вуглецю, 1 % азоту і т.д.).

Швидкорізальні сталі розділяють на сталі нормальної продуктивності, тобто помірної теплостійкості (P18, P6M3, P6M5); сталі підвищеної продуктивності, тобто підвищеної теплостійкості (11P3AM3Ф2, P6M5Ф3, P12Ф3, P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P9M4K8, P2AM9K5); сталі високої теплостійкості (B11M7K23, B14M7K25, 3B20K20X4Ф). В усіх марках швидкорізальної сталі також міститься: по 0,2-0,5 % марганцю і кремнію, 0,6 % нікелю, 0,25 % міді, по 0,03 % фосфору і сірки.

Сталі нормальної продуктивності мають твердість у загартованому стані 63–64 HRC, межу міцності при вигині 2900–3400 МПа, ударну в'язкість 2–4,8 Дж/м² і теплостійкість 600-620 °С. Найстаріша сталь P18 незважаючи на високу якість і технологічність у виготовленні, застосовується рідко через дефіцитність вольфраму. Вольфрамо-молібденова сталь P6M5 більш пластична і краще кується, а її карбідна неоднорідність на 2 бали нижча ніж у сталі P18. Сталь P6M5 має вищу міцність, але меншу теплостійкість, тому її застосовують при дещо нижчих швидкостях різання, проте для обробки з більшими фізичними

навантаженнями (більша глибина і подача при різанні). Тому сталь Р6М5 тепер найширше застосовується для виготовлення свердел, зенкерів, розверток, різьбо- та зубонарізних інструментів та різців, які працюють у важких умовах.

Сталі підвищеної продуктивності характеризуються підвищеним вмістом ванадію і кобальту. Найширше застосовується сталь Р6М5Ф3, яка більш тверда, теплостійка та зносостійка ніж сталі Р18 та Р6М5. Її твердість сягає 67 HRC, а теплостійкість – до 640–650 °С. Разом з тим, сталі з підвищеним вмістом ванадію гірше оброблюються шліфуванням.

Кобальтові сталі є одними з найбільш теплостійких, вони мають високу теплопровідність, що знижує температуру в зоні різання. Шліфованість кобальтових сталей краща ніж ванадієвих, але вони мають меншу міцність і крихкіші. Внаслідок високої тепло- та зносостійкості вартість обробки інструментами з кобальтових сталей нижча ніж при використанні інших швидкорізальних сталей. Найчастіше кобальтові сталі (Р9К5, Р6М5К5 та ін.) застосовують для обробки нержавіючих та жароміцних сталей і сплавів. Період стійкості інструментів з таких сталей у 3–5 разів вищий, ніж зі сталей Р18 та Р6М5.

Швидкорізальні сталі високої продуктивності характеризуються заниженим вмістом вуглецю (до 0,3 %), але більшою кількістю легуючих елементів. Вони мають підвищену твердість 69–70 HRC і теплостійкість 700 – 720 °С. Найчастіше їх застосовують для різання важкооброблюваних матеріалів і титанових сплавів. При обробці титанових сплавів період стійкості інструментів з сталей високої теплостійкості може бути до 60 разів вищим, ніж зі сталі Р18, в 8–15 разів вищим (завдяки високій міцності – до 2500 МПа), ніж з твердого сплаву ВК8.

Крім розглянутих вище, останнім часом все ширше застосовують порошкові швидкорізальні сталі, які отримують методами порошкової металургії. Інструменти з цих сталей характеризуються однорідною дрібнозернистою структурою, рівномірним розподілом карбідної фази, доброю шліфованістю, вищими механічними і технологічними властивостями. Швидкорізальні сталі Р6М5Ф3-МП, Р7М2Ф6-МП, Р9М2Ф5К6-МП, Р12МФ5-МП та інші рекомендуються для виготовлення дрібнозубого та іншого інструменту, який працює у важких умовах.

Останнім часом все ширше застосовують карбідосталі, які також отримують методами порошкової металургії. Ці сталі за своїми властивостями можна вважати проміжними між швидкорізальними сталями і твердими сплавами. Карбідосталі відрізняються високим вмістом карбідів титану та карбідів інших елементів. З суміші порошку швидкорізальної сталі та дрібнодисперсних частинок карбіду титану пластичним деформуванням отримують заготовки необхідної форми.

Вміст карбіду титану сягає 30–70 %, в тому числі вміст Ti, наприклад, сягає 20 % у карбідосталі Р6М5-КТ20. Після гартування і відпалу твердість сягає 68–70 HRC, теплостійкість – 650–690 °С, а міцність при згинанні $\sigma_3=1500\text{--}2000$ МПа, стійкість інструменту підвищується у 1,5–2,5 рази у порівнянні як зі звичайними, так і з порошковими швидкорізальними сталями. Проте карбідосталі гірше шліфуються і мають низьку пластичність у порівнянні зі звичайними швидкорізальними сталями.

1.2.5. Рекомендації щодо вибору інструментальних сталей

Інструменти з нелегованих вуглецевих інструментальних сталей мають достатню твердість 60–162 HRC та невисоку теплостійкість, яка дорівнює 200–250 °С. Тому ці сталі застосовують переважно для виготовлення ручних інструментів, які працюють з швидкістю різання в межах 5–10 м/хв: мітчики ручні, розвертки малорозмірні, пилки, стамески, ножівкові полотна, напилки, зубила, малорозмірний різальний інструмент тощо. Гострота різальних кромek $\rho = 2\text{--}5$ мкм, що є особливо цінним для деревообробних інструментів.

Різальні властивості легованих інструментальних сталей приблизно такі ж, як і нелегованих, але вартість їх дещо вища. Тому, що ці сталі загартовують у маслі, вони менше жолобляться при термічній обробці (ТО). Їх доцільно застосовувати для виготовлення довгих інструментів малого перерізу (наприклад, сталь ХВГ – для довгих протяжок, розверток), для інструментів, які повинні мати більшу твердість та зносостійкість (наприклад, сталь 9ХС, яка зберігає різальні властивості при температурі до 250 °С – для невеликих фрез, зенкерів, мітчиків, протяжок тощо).

Леговані інструментальні сталі мають теплостійкість до 250–350 °С і допускають швидкість різання до 15–20 м/хв. Деякі леговані інструментальні сталі (Х6ВФ, Х12Ф1) мають теплостійкість до 400 °С і їх застосовують для фуганкових ножів та фрез для обробки деревини і неметалевих матеріалів. Гострота різальних кромek інструментів з легованих сталей $\rho = 10\text{--}15$ мкм.

Швидкорізальні сталі мають твердість до 70 HRC і теплостійкість до 700 °С при відносно високій міцності та в'язкості, вони добре обробляються лезовим і абразивним інструментом. Ці сталі забезпечують одержання гострих різальних кромek з $\rho = 20\text{--}30$ мкм, що дозволяє зрізати тонкі стружки (0,02 – 0,05 мм) за допомогою розверток, протяжок, різців.

Швидкорізальні сталі застосовують для всіх видів лезових інструментів; для чорнової, напівчистої та чистої обробки широкої номенклатури матеріалів (конструкційних сталей та сплавів, нержавіючих та жароміцних сталей, чавунів, кольорових сплавів) з швидкістю різання

до 50–60 м/хв (свердел, зенкерів, розверток, фасонних різців, фрез, різьбо- та зубонарізних інструментів тощо).

Для обробки конструкційних матеріалів міцністю $\sigma_s = 600\text{--}700$ МПа рекомендуються сталі нормальної продуктивності (Р6М5, Р6М3, Р18). Для обробки матеріалів з підвищеною міцністю $\sigma_s \geq 1000$ МПа, нержавіючих та жароміцних сталей, титанових сплавів рекомендуються швидкорізальні сталі підвищеної продуктивності (Р9К5, Р6М5Ф3 та ін.).

Швидкорізальні сталі підвищеної продуктивності рекомендуються і при обробці звичайних конструктивних матеріалів. Наприклад, якщо необхідно підвищити стійкість інструмента – застосовують високованадієві сталі (Р6М5Ф3, Р12Ф3), а якщо необхідно підвищити продуктивність обробки – застосовують кобальтові сталі (Р9К5, Р6М5К5). Ванадієві сталі мають меншу теплопровідність ніж кобальтові, тому їх вигідно застосовувати при обробці з відносно невисокими швидкостями різання, коли температура різання не перевищує 400 °С. При цьому ванадієві сталі мають значно більшу зносостійкість ніж сталь Р18. Навпаки, висока теплопровідність кобальтових сталей дозволяє застосовувати їх при відносно високих швидкостях різання.

Вплив марки інструментальної сталі на швидкість різання при обробці конструкційних вуглецевих сталей і чавунів можна оцінити за значенням коефіцієнта K_{vi} (табл. 1.2) [1].

При виборі марки швидкорізальної сталі необхідно враховувати, що більшу міцність мають сталі леговані молібденом, а більшу теплостійкість ті, що леговані вольфрамом. Іноді при виборі марки швидкорізальної сталі велике значення має оброблюваність шліфуванням, особливо при виготовленні дрібнозубого інструменту. Найкраще шліфуванням оброблюються сталі Р6М5, Р12, Р18.

Таблиця 1.2

Значення коефіцієнта K_{vi} , який враховує вплив марки інструментальної сталі на швидкість різання

Марка сталі	В12А	9ХС	Р18	Р6М5	Р9Ф5	Р9К5	Р12Ф3
Коефіцієнт K_{vi}	0,5	0,6	1,0	1,0	1,08	1,1	1,15

1.2.6. Металокерамічні тверді сплави

Металокерамічні тверді сплави (ТС) виготовляють методами порошкової металургії. Вони не включають заліза і складаються з карбідів вольфраму (WC), титану (TiC) і танталу (TaC), які зв'язані чистим кобальтом (Co). Їх твердість, для порівняння, не менша 70 – 80 HRC і за твердістю вони поступаються тільки алмазу, карбиду бору, карбиду

кремнію, карборунду і корунду, але значно перевищують твердість швидкорізальних сталей, яка знаходиться в межах 62–65 HRC. Крім того, цю твердість вони зберігають до температур 800–1000 °С, що у порівнянні з швидкорізальними сталями дозволяє значно збільшувати швидкість різання у 5–8 разів.

Тверді сплави мають достатньо високу міцність, що дозволяє виконувати як чорнову, так і чистову обробку з великим перерізом зрізу. Завдяки цьому підвищились вимоги до потужності верстатів та частоти обертання шпинделів. Так сучасні верстати з ЧПК мають частоти обертання $n = 2000\text{--}20000$ об/хв, а верстати для швидкісної та надшвидкісної обробки – $n = 20000\text{--}40000$ об/хв. Тому твердосплавними інструментами знімається до 70 % від усієї зрізуваної стружки.

Тверді сплави розділюють на три групи (табл. 1.3):

- Однокарбідні, вольфрамо-кобальтові (ВК), які складаються із зерен карбідів вольфраму, зв'язаних (зцементованих) чистим кобальтом. Цифри вказують на вміст чистого кобальту у відсотках, а решта – карбіди вольфраму.
- Двокарбідні, вольфрамо-титано-кобальтові (ТК), що складаються з карбідів вольфраму і карбідів титану, зв'язаних кобальтом. Цифра після Т вказує на вміст карбідів титану у відсотках, після К – чистого кобальту, решта – карбіди вольфраму.
- Трикарбідні – вольфрамо-титано-тантало-кобальтові (ТТК). Цифра після ТТ – сумарний вміст карбідів титану та танталу, після К – кобальту, решта – карбіди вольфраму.

Висока твердість (87–92 HRA) та зносостійкість дозволяють оброблювати загартовані сталі з високими швидкостями. Взагалі, при обробці конструкційних сталей швидкість різання інструментами з твердих сплавів сягає 150–200 м/хв і більше.

Тверді сплави у вигляді пластин механічно кріплять, іноді напаюють, на державки інструментів з конструкційних та інших сталей. Дрібні різальні інструменти виготовляють повністю з твердих сплавів.

Однокарбідні вольфрамо-кобальтові ТС (група ВК) вміщують кобальту, переважно, 3–10 %. При збільшенні кобальту від 3 до 10 % межа міцності, пластична деформація і ударна в'язкість зростають, а твердість та модуль пружності зменшуються, знижується зносостійкість.

Сплави групи ВК рекомендуються для обробки чавунів, кольорових сплавів та пластмас, а також для обробки сталей, які включають титан. При цьому сплави з високим вмістом кобальту рекомендуються для важких умов різання, наприклад при чорновій обробці, які проходять при великих динамічних навантаженнях, але відносно низькій швидкості різання.

Навпаки, при малонавантажених чистовій обробці рекомендуються ТС з малим вмістом кобальту, які більш крихкі, але допускають високі швидкості різання і забезпечують низьку шорсткість обробленої поверхні.

Двокарбідні вольфрамо-титано-кобальтові ТС (група ТК) як зв'язуючий матеріал містять кобальт, приблизно, в такій же кількості, як і однокорбідні ТС. Вплив кобальту на експлуатаційні характеристики твердих сплавів групи ТК такий же, як і групи ВК (табл. 1.3).

Сплави групи ТК мають більшу твердість ніж сплави групи ВК, через вищу твердість зерен $(Ti, W)C$ у порівнянні з твердістю зерен WC , але вони крихкіші через підвищену крихкість карбідів $(Ti, W)C$. Крім того, сплави групи ТК мають більшу термодинамічну стійкість і меншу схильність до дифузійного зносу, коли атоми матеріалу інструмента активно дифундують (проникають) у зрізувану стружку.

Тому сплави групи ТК призначені, в основному, для обробки різних сталей при утворенні зливної стружки. Проте при обробці сталей, легованих титаном, тверді сплави групи ТК не рекомендуються через підвищений адгезійний знос внаслідок хімічної спорідненості різального та оброблюваного матеріалів.

Титано-тантало-вольфрамо-кобальтові ТС (група ТТК) внаслідок легування карбідом танталу більш дрібнозернисті і мають нижчу крихкість ніж сплави групи ТК. Введення карбідів танталу підвищує міцність та твердість при високих температурах 600–800 °С. Тобто карбід танталу при високих температурах підвищує твердість, термостійкість та зносостійкість різців. Але тверді сплави групи ТТК дорожчі і їх застосовують, в основному, при обробці важкооброблюваних сталей.

Останнім часом для виготовлення ТС поряд з карбідами застосовують бориди металів. Як зв'язку застосовують молибден і нікель. Наприклад, ТС, що вміщує 60 % карбіду титану, 25 % бориду титану, 15 % зв'язки (7,5 % Mo + 7,5 % Ni).

Інститутом матеріалознавства НА України запропоновані карбідохромисті ТС (безвольфрамові) марок КХН10, КХН15, КХН20, КХН25, КХН30, КХН35, КХН40. Їх основа – карбід хрому, а зв'язка – нікель. Є інші безвольфрамові ТС. Звичайно усі безвольфрамові ТС мають високу твердість і теплостійкість (900–1000 °С), дуже крихкі і уступають ТС, які містять вольфрам. Їх застосовують для чистової обробки.

З метою підвищення експлуатаційних властивостей різальних інструментів, все частіше застосовують зносостійкі покриття, які забезпечують підвищену поверхневу зносостійкість і відносно високу міцність та в'язкість, мікротвердість, теплостійкість тощо.

Таблиця 1.3

Склад та основні характеристики твердих сплавів (ГОСТ 3882-74)

Сплав	Склад сплаву, %				Фізико-механічні властивості	
	WC	TiC	TaC	Co	Межа міцності при згинанні σ_z , МПа (не менше)	Твердість HRA (не менше)
1	2	3	4	5	6	7
Однокарбідні тверді сплави на основі WC-Co (група BK)						
BK3	97	-	-	3	1176	89,5
BK3-M	97	-	-	3	1176	91,0
BK6	94	-	-	6	1519	88,5
BK6-M	94	-	-	6	1421	90,0
BK6-OM	94	-	-	6	1274	90,5
BK8	92	-	-	8	1666	87,5
BK8-B	92	-	-	8	1813	86,5
BK8-BK	92	-	-	8	1764	87,5
BK10	90	-	-	10	1764	87,0
BK10-XOM	88	-	2	10	1470	89,0
BK15	85	-	-	15	1862	86
BK20	80	-	-	20	2058	84
Двокарбідні тверді сплави WC-TiC-Co (група TK)						
T30K4	66	30	-	4	980	92,0
T15K6	79	15	-	6	1176	90,0
T14K8	78	14	-	8	1274	89,5
T5K10	85	6	-	9	1421	88,5
Трикарбідні тверді сплави WC-TiC-TaC-Co (група TTK)						
TT7K12	81	4	3	12	1666	87,0
TT8K6	84	8	2	6	1323	90,5
TT10K8Б	82	3	7	8	1617	89,0
TT20K9	67	9,4	14,1	9,5	1470	91,0

Найчастіше застосовують моношарові покриття з застосуванням карбідів, нітридів, карбонітридів, боридів і силіцидів тугоплавких металів. Широко застосовують карбіди (TiC), нітриди (TiN) та карбонітриди (TiCN) титану.

Основні вимоги до покриття робочих поверхонь інструмента такі:

- висока мікротвердість, яка у 1,5–2 рази перевищує твердість основного інструментального матеріалу і зберігається при дуже високих температурах;
- висока міцність зчеплення з інструментальним матеріалом;
- висока зносостійкість при значних коливаннях температур і напруг;
- хімічна інертність до адгезії (взаємодії) з оброблюваним матеріалом;
- стабільність механічних властивостей при високих температурах та інертність до дифузійних процесів.

Перспективними є багатошарові композиційні покриття наступних типів: (Ti-Cr)N, (Ti-Mo)N, (Nb-Cr)N, (Ti-Nb-Cr)N, (Ti-Nb-Mo)N. Вони мають високу термостабільність при температурах понад 600–700 °C.

1.2.7. Класифікація інструментальних матеріалів за міжнародним стандартом ISO 513-75

Міжнародна організація зі стандартизації ISO передбачає класифікацію інструментальних матеріалів з урахуванням властивостей оброблюваних матеріалів та типом зрізуваної стружки, видом обробки (чорнова, напівчистова, чистова, завершальна), умовами різання (важкі, нормальні, добрі) та типами обробки (точіння, розточування, фрезерування, свердління та ін.).

ISO передбачає розподіл оброблюваних матеріалів на три групи (табл. 1.4) [1]: *P* – позначена синім кольором, *M* – жовтим, *K* – червоним.

Група *P* включає сталі й сталеве литво, при обробці яких утворюється зливна стружка.

Група *M* включає труднооброблювані жароміцні та нержавіючі сталі, титанові сплави, при обробці котрих утворюється стружка надлому та зливна.

До групи *K* входять чавуни, кольорові метали та сплави, матеріали з високою твердістю оброблюваних поверхонь, при обробці яких утворюється стружка надлому та елементна.

За умовами обробки кожна група ділиться на підгрупи від 01 до 50, починаючи від чистової обробки, до обробки у важких умовах з ударами.

За ISO цифра у позначенні марки твердого сплаву вказує на рівень його зносостійкості і в'язкості: зі зростанням цифри знижується зносостійкість і зростає міцність. Тобто, малі індекси відповідають чистовій обробці, коли необхідна висока зносостійкість та теплостійкість при високих швидкостях різання та відносно малих перерізах стружки. Більші індекси відповідають чорновій обробці, коли завдяки великим

динамічним навантаженням від твердих сплавів вимагається висока міцність при нижчих швидкостях різання.

Таблиця 1.4

Класифікація оброблюваних матеріалів за ISO

Група за ISO (колір маркування)	Оброблюваний матеріал		Твердість, HB	Марки матеріалів-представників
1	2		3	4
Р (синій)	Вуглецеві сталі		125	08 кп; Ст 3; 20; 09Г2С; А12
			150	Ст 30; 35; 40; 45; 50
			170	У7А; У8А; 60Г; 65Г; А40Г
	Леговані сталі	у стані поставки	180	20Х; 20ХН; 38ХА; 40Х; 12ХН2; 20ХН2М; 60С2ХФА
		загартовані й відпущені	300	
	Високолеговані і швидкорізальні сталі	після відпалу	200	Х12М; 5ХНМ; 3Х2В8Ф; 9ХС; ХВГ; Р18; Р6М5
		з підвищеною твердістю	350	
	Сталево литво		180	20Л; 25Л; 35Л
М (жотий)	Нержавіючі сталі	Мартенситного класу	200	20Х13; 30Х13; 40Х13
		аустенітного класу	180	12Х18Н10Т; 17Х18Н9; 06Х18Н11
	Титанові сплави		400, МПа	BT1-00; BT3-1; BT5; BT14
	Жароміцні сплави		280	06ХН28МДТ; ХН32Т; ХН35ВТЮ; ХН32Т; ХН67ВТМЮЛ
К (червоний)	Чавуни	сірі	100-400	СЧ10; СЧ20; СЧ25; СЧ35;
		ковкі	280	КЧ37-12; КЧ50-5
		високоміцні	160	ВЧ35; ВЧ100
	Кольорові сплави	алюмінієві сплави	60	АМГ2; Д16; АЛ3;
		бронзи і латуні	90	ЛС63-1; Л96; Л80; ЛО70-1
	Матеріали з високою поверхневою твердістю	загартована сталь	HRC 45-60	У8А; 60Г; 40Х; 9ХС; ХВГ; 60С2ХФА; Р18; Р6М5
		леговані зносостійкі і вибілені чавуни	HRC 40-50	ИЧХ; 28Н2; ЧН15Д; ЧХ16

Останнім часом провідні інструментальні фірми світу пропонують додатково виділяти ще три групи конструкційних оброблюваних матеріалів за специфічними властивостями:

- група *N* – кольорові метали та сплави (зелений колір);
- група *S* – важкооброблювані жароміцні сплави (коричневий колір);
- група *H* – матеріали з високою твердістю, понад 48 HRC (сірий колір).

Для порівняння властивостей інструментальних матеріалів розроблені таблиці відповідності вітчизняних твердих сплавів щодо класифікації I [1]. Класифікація оброблюваних матеріалів за ISO наведена в табл. 1.4.

Застосування сучасних технологічних процесів виготовлення швидкорізальних сталей, твердих сплавів і інших інструментальних матеріалів та нанесення на їх поверхні зносостійкого покриття досягли такого рівня, що вони більшою мірою визначають різальні властивості інструментів, ніж їх хімічний склад. Тому в міжнародній практиці застосовують умовні скорочені позначення інструментальних матеріалів, які дозволяють точніше визначити область їх призначення [4].

Позначення металокерамічних твердих сплавів:

- *HW* – тверді сплави без покриття, найбільшу відносну частку яких складає карбід вольфраму;
- *HT* – безвольфрамові тверді сплави (кермети), які створені на основі карбиду чи нітриду титану, карбідонітриду титану або їх композиції;
- *HC* – тверді сплави з покриттям.

Позначення мінералокерамічних твердих сплавів:

- *CA* – оксидна кераміка, яка складається, в основному, з оксиду алюмінію;
- *CM* – змішана кераміка на основі оксиду алюмінію та карбідів вольфраму, молібдену та інших компонентів;
- *CN* – нітридна кераміка.

Позначення надтвердих матеріалів:

- *DP* – полікристалічний синтетичний алмаз;
- *BN* – кубічний нітрид бору.

1.2.8. Мінералокерамічні пластини та алмази

Основна особливість різальної кераміки – відсутність зв’язувальної фази, що значно зменшує зниження її міцності при нагріванні, підвищує швидкість різання.

Розрізняють чотири групи різальної кераміки:

- оксидна – на основі окису алюмінію Al_2O_3 , відомого під назвою «корунд» (білого кольору);
- оксидно-карбідна – на основі композиції Al_2O_3 -TiC (чорного кольору);
- оксидно-нітридна – на основі Al_2O_3 -TiN (кортиніт);
- нітридна – на основі Si_3N_4 .

Якщо при чистовій обробці сталей та чавунів з малими перерізами зрізуваної стружки різцями, оснащеними пластинками з мінералокераміки,

швидкість різання доходить до 800-1000 м/хв, то при обробці найкращими твердими сплавами вона не перевищує 500 м/хв. Незважаючи на низьку вартість, високу твердість та теплостійкість, пластини з мінералокераміки крихкі, що суттєво обмежує їх застосування.

Найчастіше застосовують мінералокерамічні пластини ЦМ332, які виготовляють з глинозему Al_2O_3 пресуванням з наступною термообробкою. Вони мають твердість HRA 95 і теплостійкість до 1200 °С. Однак через дуже високу крихкість застосовуються рідко для чистової обробки кольорових металів і сплавів.

Алмази природні масою 0,3–1,5 карата (1 карат = 0,2 г) припадають або зачеканюють у державках і застосовують для завершальної обробки кольорових металів і неметалевих матеріалів. Завдяки високій твердості HRA 100, теплопровідності, червоностійкості (до 800 °С) і низькому коефіцієнтові тертя, алмази дозволяють оброблювати кольорові метали з швидкістю до 500–1000 м/хв. При обробці кольорових металів їх стійкість – десятки годин.

В останні часи отримані синтетичні алмази і надтверді матеріали: кубічний нітрид бору (кубоніт), який за границею називають “боразон”, а у нас “ельбор”, “ісміт”. Їх застосовують для виготовлення шліфувальних інструментів.

У промисловості широко упроваджують різці з пластинами з надтвердих синтетичних матеріалів на базі полікристалічного кубічного нітриду бору: ельбору – Р і гексаніту – Р, які призначені для виготовлення лезового інструмента.

Ельбор – Р призначений для тонкої і чистової обробки без ударних навантажень заготовок з загартованих сталей твердістю до HRC 67 та чавунів. Стійкість таких різців у 5–15 разів вища ніж твердосплавних.

Гексаніт – Р призначений для чистової і напівчистової обробки точінням з невеликими ударними навантаженнями сталей твердістю до HRC 60, а також для фрезерування.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які вимоги висувають до інструментальних матеріалів?
2. Чим відрізняються вуглецеві сталі від легированих інструментальних?
3. Назвіть основні переваги та недоліки швидкорізальних сталей.
4. Назвіть рекомендації по вибору інструментальних сталей.
5. Назвіть особливості застосування металокерамічних твердих сплавів.
6. Що покладено в основу класифікації інструментальних матеріалів за міжнародним стандартом ISO 513-75?
7. Особливості застосування мінералокерамічних пластин і алмазів.

1.3. Суть обробки матеріалів різанням

1.3.1. Елементи режиму різання при точінні

При обробці різанням нас цікавить якість і продуктивність, тобто час обробки. Час, що необхідний для зрізування припуску на довжині заготовки L при точінні, залежить від хвилинної подачі різця $S_{xв}$ у напрямі обробки, довжини обробки L та числа переходів i

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S_{xb}} = \frac{L \cdot i}{S_o \cdot n}, \text{ хв.}$$

Тобто, основний час обробки T_o залежить від подачі різця S_o на один оберт заготовки і частоти обертання шпинделя n , об/хв. Частоту обертання шпинделя визначають за призначеною швидкістю різання V , м/хв, яка може обмежуватися, з одного боку, різальними властивостями різця і, з другого боку, ефективною потужністю обладнання N_e (з двох швидкостей приймають меншу). Маючи швидкість різання, частоту обертання шпинделя визначають за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1},$$

де D , мм – зовнішній діаметр оброблюваної поверхні.

Подачею S_o називається величина переміщення різця за один оберт шпинделя, мм/об. Величина переміщення різця за одну хвилину називається хвилинною подачею і визначається за формулою:

$$S_{xв} = S_o \cdot n, \text{ мм/хв.}$$

Глибиною різання h називається товщина шару металу, що зрізається за один перехід різця і заміряється у напрямі, перпендикулярному до обробленої поверхні. При точінні (рис. 1.11)

$$h = (D-d)/2, \text{ мм.}$$

Швидкість різання V , глибина різання h і подача S є основними характеристиками режиму різання.

Неважко помітити, що при постійній глибині різання h і подачі S_o умови різання будуть сильно змінюватись при різних значеннях головного кута в плані φ . Тому більш точно ніж S_o і h фізичну сутність процесу різання характеризує товщина зрізу a і його ширина b (рис. 1.11). Ширина зрізу b вимірюється уздовж леза і показує його робочу довжину:

$$b = h / \sin \varphi, \quad a = S_o / \sin \varphi.$$

Із зменшенням кута φ збільшується ширина зрізу і зменшується його товщина, тобто зменшується питоме силове і теплове навантаження на лезо різця.

1.3.2. Основи процесу різання і стружкоутворення

Вивчення процесу стружкоутворення має велике значення тому, що від нього залежить величина роботи, яка витрачається на різання, знос інструмента і якість обробленої поверхні. На процес стружкоутворення сильно впливають: оброблюваний матеріал, режим обробки та інші фактори.

Вплив матеріалу. Умовно оброблювані матеріали можна розділити на крихкі і пластичні.

Крихкі – це такі матеріали, руйнування яких проходить у межах прямої пропорційності (відрізок ОА на рис. 1.12) кривої Гука. До них відносять чавуни та деякі кольорові метали і сплави.

Пластичні – це такі матеріали, руйнування яких настає в точці С за границями прямої пропорційності, тобто після досягнення границі текучості (відрізок А–В на рис.1.12). До них відносять сталі та деякі кольорові метали і сплави.

Спочатку розглянемо процес найпростішого, вільного різання при струганні (коли в роботі приймає участь тільки одна різальна кромка), прямокутного ($\varphi = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$). Оброблюється пластичний матеріал (сталь), а різець ширший від оброблюваної заготовки (рис.1.13).

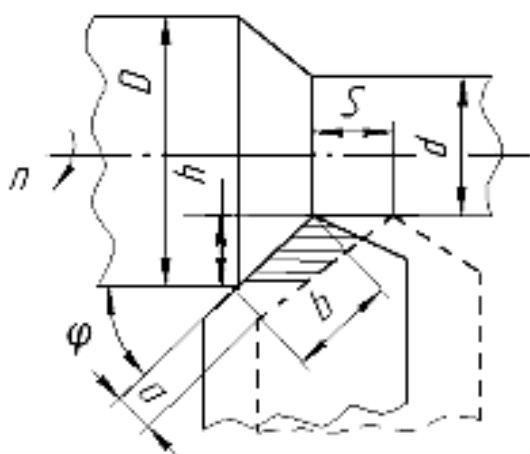


Рис. 1.11. Елементи режиму різання при точінні

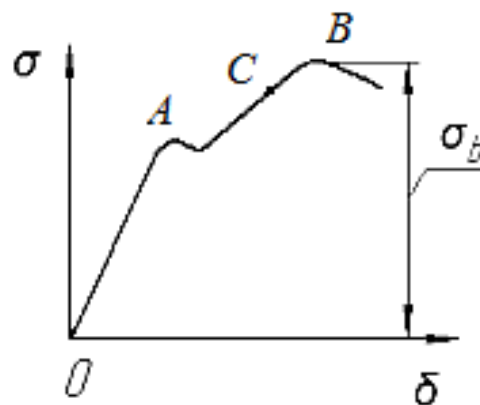


Рис. 1.12. Діаграма залежності деформації δ від напруги σ

При заглибленні різця в заготовку в оброблюваному металі виникають пружні деформації, котрі по досягненні границі текучості переходять у пластичні і далі метал руйнується, тобто відбувається відділення стружки.

Між стружкою і оброблюваним матеріалом знаходиться зона деформації АОЕ, обмежена початковою АО і кінцевою ОЕ поверхнями

ковзання, уздовж яких проходять перші (АО) і останні (ОЕ) пластичні зсуви металу. При реальних швидкостях різання зона деформації звужується і можна вважати, що пластичні зсуви металу проходять в зоні площини ОФ, яку професор Тіме назвав площиною сколювання.

Зрізуваний шар, внаслідок тертя об передню поверхню різця, додатково деформується (коефіцієнт тертя μ може доходити до 1, коли в гальмівних колодках автомобіля $\mu \leq 0,35$) і товщина стружки a' більша від товщини зрізуваного шару a . Чим більший ступінь деформації зрізуваного шару (його потовщення), тим гірші умови різання. Характеристикою ступеня деформації зрізуваного шару може служити *коефіцієнт усадки стружки*, якій дорівнює: $\zeta = L/L_1$,

де L – довжина шляху, який пройшов різець, L_1 – довжина зрізаної стружки. Величина ζ залежить від режимів різання, оброблюваного матеріалу, геометрії інструмента і коливається в межах від 1 до 6 (звичайно 1,7–3). Чим більше значення ζ , тим гірші умови різання.

Про ступінь деформації стружки можна також судити за формою і виглядом зрізуваної стружки.

При обробці пластичних матеріалів елементи стружки можуть триматися разом або розсипатися. Якщо ці елементи не зв'язані між собою, то стружка елементна (рис. 1.14). Якщо стружка сама не розсипається, але між елементами видно лінії сколювання, то стружка суставчаста. Якщо площини сколювання непомітні під мікроскопом, то стружка зливна.

Найбільше деформована елементна стружка, найменше – зливна. Тобто різання з високими швидкостями більш раціональне.

Особливо великий вплив на форму стружки при обробці пластичних матеріалів (сталей) чинить швидкість різання:

- при V до 1,5 м/хв – елементна;
- при $V = 5\text{--}10$ м/хв – суставчаста;
- при V більшій 15 м/хв – зливна.

При обробці крихких матеріалів процес відділення стружки дещо інший, тому що вони легше переносять дотичні напруги, ніж нормальні, особливо на розрив. При досягненні граничних напруг матеріал руйнується без пластичної деформації. Утворюється стружка надлому. Така стружка пластично не деформована і на її зрізування витрачається менша робота. Форма стружки надлому не залежить від V , S і h .

Проблема дроблення зливної стружки, особливо на АЛ, надзвичайно важлива. Для дроблення стружки застосовують спеціальну геометрію заточки інструмента, різні стружколоми, переривчасте різання тощо, але проблема ще не вирішена.

Утворення наросту. Внаслідок високого тиску і температури в зоні тертя стружки об передню поверхню різця (рис. 1.15), коли коефіцієнт тертя стружки об різець перевищує коефіцієнт внутрішнього тертя в шарах розм'якшеної стружки, відбувається гальмування нижнього шару стружки, що збігає. При певних умовах ($V \approx 10\text{--}50$ м/хв, і особливо 25–30 м/хв) цей загальмований шар росте, утворюючи нарост.

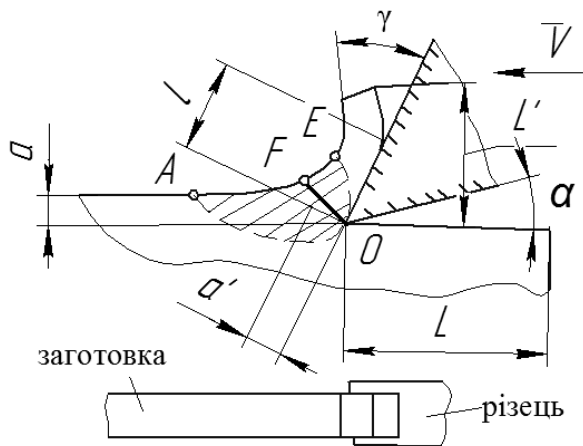


Рис.1.13. Схема стружкоутворення при вільному прямокутному різанні

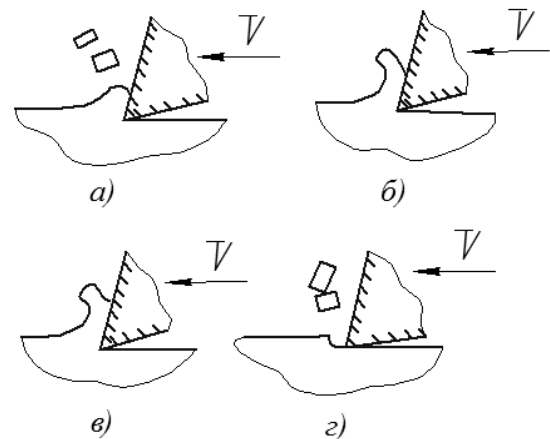


Рис.1.14. Види стружки: а – елементарна, б – суставчаста, в – зливна, г – надлому

Твердість наросту в 2,5–3,5 рази перевищує твердість оброблюваного матеріалу і він сам може виконувати різання. Наріст бажаний при чорновій обробці, тому що захищає різець від зносу, але недопустимий при чистовій обробці, тому що знижує якість обробленої поверхні внаслідок вібрацій, зриву наросту, нечистої поверхні обробки.

1.3.3. Сили різання і їх розрахунок

Розглянемо сили різання при зовнішньому точінні. Приймаємо, що при різанні металів усі елементарні сили різання, що діють на передню і задню поверхні різця, замінюємо однією сумарною силою P , яка, як і всяка векторна величина, характеризується величиною і напрямом.

Згідно з ГОСТ 25762-83, при вивченні сил різання цю рівнодіючу P сил різання розкладають на три складові P_z , P_y і P_x , що направлені уздовж 3-х координатних осей (рис. 1.16). На різець діють наступні сили.

Головна складова сили різання P_z – це складова сили різання, яка за напрямом співпадає з швидкістю головного руху різання у вершині різця. Вона не тільки найбільша за величиною, але і діє у напрямі максимальної

швидкості, виконуючи основну роботу різання. За нею визначають крутний момент і потужність різання, яка складає біля 98 % від усієї затрачуваної потужності при різанні.

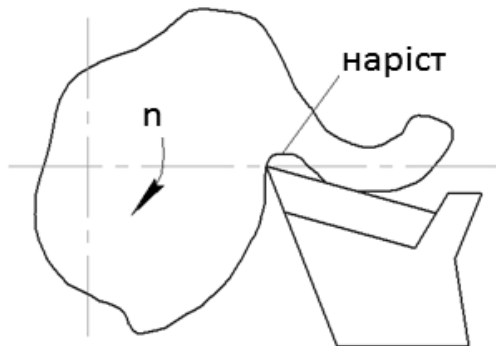


Рис. 1.15. Схема утворення наросту при точінні

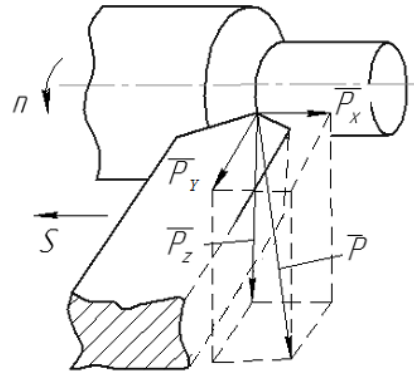


Рис. 1.16. Схема сил різання, які діють на різець при точінні

Радіальна складова сили різання P_y , що направлена по радіусу до головного обертового руху. Вона направлена перпендикулярно до обробленої поверхні і проходить через вісь обертання заготовки або інструмента. Оскільки в напрямі дії цієї сили нема переміщення, то вона не впливає на роботу різання, але має найбільший вплив на точність обробки, тому що намагається відтиснути заготовку на Δy (рис. 1.17). При відтискуванні заготовки на Δy похибка розміру діаметра $\Delta D = 2 \Delta y$.

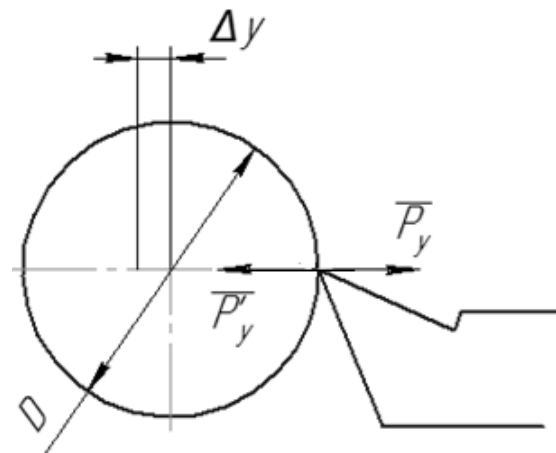


Рис. 1.17. Схема впливу радіальної сили різання P_y на точність обробки

Осьова складова сили різання P_x - це складова сили різання, яка паралельна до осі обертання заготовки. Вона перпендикулярна до P_z та P_y і діє в напрямі подачі. Внаслідок малої швидкості її переміщення, вплив P_x на потужність різання не перевищує 2 % і ним нехтують.

Виходячи з викладеного, ефективна потужність різання визначається за формулою

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт, де } P_z - \text{ в Н, } V - \text{ в м/хв.}$$

Звичайно, при роботі гострим різцем з $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 15^\circ$ і $h > S_o$, відношення складових сили різання складає

$$P_z : P_y : P_x = 1 : 0,4 : 0,25,$$

звідси слідує, що сила $P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \approx 1,12 P_z$.

Силу P_z при точінні різцем з твердого сплаву визначають за емпіричною формулою

$$P_z = C_{P_z} \cdot h^{x_{P_z}} \cdot S_o^{y_{P_z}} \cdot V^n \cdot k, H,$$

де C_{P_z} – постійна для певної групи металів; h , S_o , V – глибина різання, подача, швидкість; x_{P_z} , y_{P_z} , n – табличні показники степеня;

$K = K_M \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_r \cdot K_h \cdot K_{MOP}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив, відповідно, оброблюваного матеріалу, головного кута в плані, переднього кута, радіуса різця при вершині, величини зносу різця, застосовуваної мастильно-охолодної рідини (МОР).

Усі коефіцієнти табульовані і наведені в довідниках. Наприклад, при обробці сталі 45 ($\sigma_s = 750$ МПа), $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $r = 2$ мм, $h = 0,4$ мм і застосуванні МОР для твердосплавного різця

$$P_z = 300 \cdot h^{1,0} \cdot S_o^{0,75} \cdot V^{-0,15}.$$

З формули сили P_z випливає, що її збільшення прямо пропорційне до глибини різання. Зі збільшенням подачі сила P_z також збільшується, але в меншій мірі.

Аналогічні залежності розроблені для P_y і P_x .

Значний вплив на сили різання чинять фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. При точінні крихких матеріалів типу чавунів, через відсутність затрат енергії на пластичне деформування стружки, сили різання в 1,5–2 рази менші, ніж при точінні сталі.

Зі зменшенням кута γ інструмент важче врізається в матеріал, росте пластична деформація і сили різання.

При збільшенні кута в плані φ сила P_y зменшується, а P_x збільшується, що підвищує точність обробки нежорстких заготовок.

1.3.4. Робота, що витрачається на процес різання

Загальна робота різання включає такі складові.

Роботу, що витрачається безпосередньо на диспергування, тобто відрив стружки і утворення нових поверхонь. Частка цієї корисної роботи, тобто к.к.д., звичайно складає 2 % від усієї затраченої.

Роботу, що витрачається на *пластичне деформування* зрізуваної стружки і обробленої поверхні.

Роботу, що витрачається на *переборювання сил тертя* стружки о передню поверхню і задньої поверхні різця об оброблену поверхню.

Дві останні роботи не корисні і їх стараються зменшити.

1.3.5. Теплові явища при різанні металів

У зв'язку з тим, що при обробці різанням затрачують роботу, то виділяється тепло. Тепло, що виникає в процесі різання, впливає на знос і стійкість інструмента, якість обробленої поверхні і, як наслідок цього, на продуктивність обробки.

При обробці пластичних матеріалів основним джерелом теплоутворення є (рис. 1.18):

- *пластична деформація* в зоні стружкоутворення;
- *тертя стружки і заготовки* об різець;
- *зона відділення стружки* у меншій мірі.

Тепло, що виникає при різанні, розповсюджується від точок з вищою температурою до точок з нижчою температурою (стрілками показані напрями руху теплових потоків). Формула теплового балансу при різанні металів має вигляд

$$Q = Q_{стр} + Q_{ин} + Q_{заг} + Q_{сер},$$

де Q – загальна кількість тепла (100 %);

$Q_{стр}$ – кількість тепла, що відходить у стружку (50–86 %);

$Q_{ин}$ – кількість тепла, що відходить в інструмент (40–10 %);

$Q_{заг}$ – кількість тепла, що відходить у заготовку (9–3 %);

$Q_{сер}$ – кількість тепла, що відходить в навколишнє середовище (1 %).

Тобто найбільша частина тепла йде в стружку і інструмент. Зі зменшенням теплопровідності оброблюваного матеріалу збільшується кількість тепла, яке нагріває різець. Тому важче оброблювати жароміцні сталі, а при обробці пластмас і дерева свердла часто “горять”.

Максимальна температура різців спостерігається в точці А, що розміщена приблизно на половині довжини $l/2$ контакту стружки з різцем. Цю найвищу температуру називають температурою різання. У залежності від умов різання, температура інструмента може коливатися від декількох десятків до 1000 °С і вище. Висока температура знижує стійкість різця проти стирання, а також знижує точність обробки через температурні деформації.

З елементів режиму різання *найбільше впливає на температуру швидкість різання V , менше S_o і найменше h .*

Тепловиділення в зоні різання можна зменшити двома шляхами:

- понижуючи режими різання, але цей спосіб неприйнятний, тому що викликає зниження продуктивності обробки;
- понижувати температуру в зоні різання за допомогою мастильно-охолодної рідини (МОР) або інших мастильно-охолодних технологічних засобів (МОТЗ) охолодження.

1.3.6. Вплив мастильно-охолодної рідини на процес різання

Як МОР впливає на процес різання?

З одного боку, *МОР охолоджує інструмент, заготовку і стружку*, що приводить до зниження температури в зоні різання на 70–130 °С і більше. З іншого боку, *МОР змащує поверхні, які труться*, понижуючи коефіцієнт тертя і полегшуючи процес пластичної деформації, тобто зменшує роботу, яка витрачається на різання.

Особливо ефективного застосування МОР, які містять поверхнево-активні речовини (ПАР). При взаємодії ПАР з металами їх молекули адсорбуються (від лат. “поглинати”) поверхнею твердого тіла, утворюючи на ній міцні плівки. Наприклад, сульфідні плівки витримують температуру до 800 °С і понижують коефіцієнт тертя в 3–5 разів.

У промисловості широко застосовують МОР на водній і масляній основі, які вміщують у вигляді добавок такі ПАР: тваринні жири, рослинні олії, жирні кислоти (олеїнова та інш.), сірку, хлор.

При чорновій обробці слід застосовувати рідини на водній основі (типу 5 і 10 % розчинів емульсолу Э2-Б та інш.), котрі мають добрі охолодні властивості.

При чистовій обробці, при нарізуванні різьб і зубів необхідно застосовувати МОР на масляній основі, які мають значні змащувальні властивості і дозволяють одержати високу якість обробки.

В промисловості широко застосовували сульфифрезол – це високо-сульфоноване мінеральне масло, але він токсичний. Тепер замість сульфифрезолу застосовують нетоксичні і більш ефективні МОР таких типів: МР-1, МР-2, МР-3 та ін.

При хонінгуванні чавуну рекомендують застосовувати гас, при обробці алюмінію – скипидар, нержавіючих сталей – олеїнову кислоту. Застосування МОР найбільш ефективно при обробці пластичних матеріалів, коли виділяється велика кількість тепла за рахунок пластичної деформації і тертя.

При обробці чавуну МОР звичайно не застосовують (за виключенням хонінгування) через забруднення верстата та його підвищений знос. Зі збільшенням швидкості різання ефективність МОР падає, тому при обробці різцями з твердих сплавів (а також через розтріскування пластин) МОР застосовують рідко.

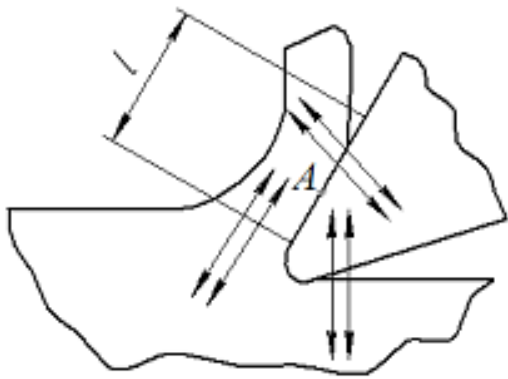


Рис. 1.18. Схема зон теплоутворення при різанні пластичних матеріалів

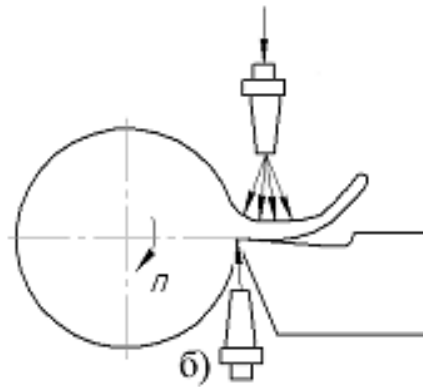


Рис. 1.19. Способи подавання МОР в зону різання

Застосовують різні способи подачі МОР в зону різання. Найчастіше МОР в зону різання подають зверху (рис. 1.19, а). Більш ефективне охолодження знизу (рис. 1.19, б) під тиском до 0,5 МПа і подачею в зону різання. Проте, через розбризкування МОР і труднощі попадання в зону різання, воно застосовується рідко. Під тиском охолоджують свердла при свердлінні глибоких отворів.

Спосіб охолодження розпиленою рідиною (за принципом роботи пульверизатора) під тиском 0,2–0,3 МПа застосовується рідко через шум і часто невисоку ефективність.

1.3.7. Знос та стійкість різального інструменту

Тому, що на поверхні інструмента має місце тертя і великі нормальні навантаження, які сягають 3–10 ГПа і діють при високих температурах, різальний інструмент інтенсивно зношується. Але інструмент не руйнується, тому що він працює в умовах всестороннього гідростатичного стискування.

У залежності від умов різання (вида оброблюваного матеріала, інструментального матеріала, його геометрії, режимів різання, умов охолодження і т. д.) можуть мати місце такі чотири види зносу.

Абразивно-механічний знос, тобто дряпання різця твердими включеннями, що знаходяться в оброблюваному матеріалі (карбіди,

нітриди, наріст, стружка та ін.). Цей вид зносу переважає при відносно невисоких швидкостях різання і характерний для інструментів з інструментальних сталей.

Адгезійний знос, тобто виривання частинок інструмента внаслідок схоплювання контактних поверхонь різця зі стружкою та заготовкою. Він характерний для швидкорізальних сталей і найсильніше проявляється при хімічній спорідненості матеріалів різця і заготовки. Тому не рекомендується оброблювати титанові сплави різцями з твердих сплавів типу ТК або ТТК через підвищений адгезійний знос.

Дифузійний знос полягає в тому, що при дуже високих тисках і температурах понад 900 °С в зоні контакту сильно розм'ягчуються поверхневі шари інструмента, в результаті чого атоми інструментального матеріалу активно дифундують (проникають) в стружку.

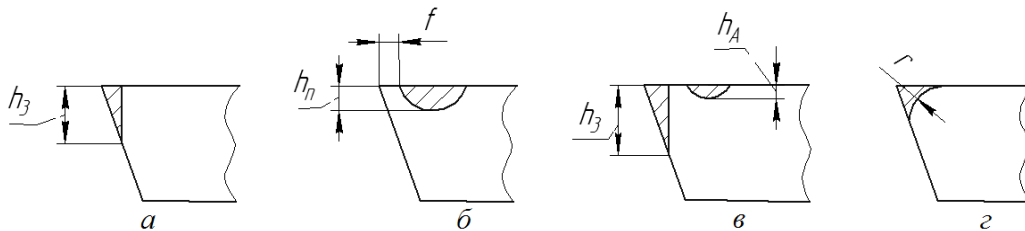


Рис. 1.20. Основні форми зносу різальної частини інструмента

Інструменти з крихких матеріалів (тверді сплави, мінералокераміка) можуть також викришуватися. Це крихкий знос.

Основні форми зносу різальної частини інструмента, що наведені на рис. 1.20:

а) *переважно по задній поверхні*. Найчастіше знос по задньої поверхні спостерігається при чистовій обробці пластичних матеріалів з малою товщиною зрізу (до 0,1 мм), а також при обробці крихких матеріалів, коли утворюється стружка надлому;

б) *переважно по передній поверхні*, коли на передній поверхні утворюється лунка глибиною h_n . Спостерігається при чорновій обробці пластичних матеріалів з товщиною зрізу понад 0,5 мм, а також при великих швидкостях різання (внаслідок дифузійного зносу) і від'ємних передніх кутах;

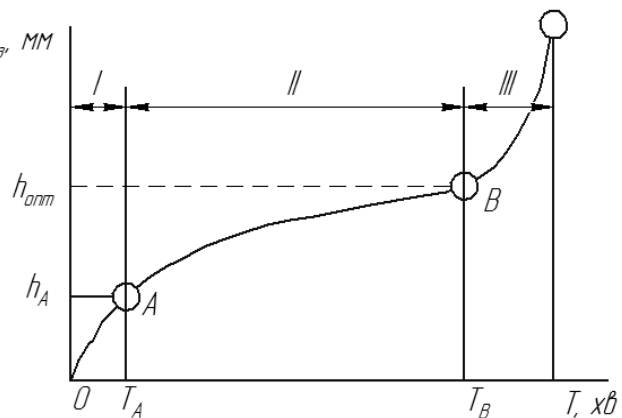


Рис. 1.21. Крива залежності зносу інструмента від часу роботи

в) *одночасний знос по передній і задній поверхнях* різця при обробці пластичних матеріалів з товщиною зрізу 0,1–0,5 мм;

г) при чистовій обробці матеріалів, які мають малу теплопровідність, наприклад пластмас, *різальна кромка інструмента плавно закругляється*.

Щоб визначити, скільки часу може працювати інструмент, вводиться поняття стійкості інструменту T , хв. Період стійкості інструменту T – це час роботи інструмента до критичного затуплення h_k (рис. 1.21).

Найбільш раціонально при чорновій обробці працювати в 1-й та 2-й зоні, тобто за критерієм максимальної сумарної стійкості різця. При чистовій обробці стійкість інструмента визначається за технологічним критерієм (забезпечення заданої шорсткості і точності обробки тощо).

Як проходить знос інструменту в часі?

Знос в часі можна розділити на три зони:

1 – *зона припрацювання*;

2 – *зона нормального, або пропорційного, зносу*;

3 – *зона катастрофічного зносу*.

З елементів режиму різання найбільший вплив на стійкість інструменту має швидкість різання. Вони зв'язані залежністю

$$T = C_v / V^z.$$

Ця формула виражає дуже важливий закон різання і називається “закон залежності стійкості T від швидкості V ” (скорочено “закон $T - V$ ”). Переважно $z = 5-7$. При $z = 5$ збільшення швидкості різання в 2 рази приводить до зниження стійкості інструмента в 32 рази.

Рекомендовані значення стійкості T табульовані і при одноінструментній обробці різцем $T \approx 60$ хв; при використанні багатоінструментних налагоджених верстатів $T \approx 120-180$ хв; а для автоматичних ліній $T \approx 240$, або 480 хв, щоб інструменти міняли в обідню перерву, або по закінченні зміни. Чим дорожчий інструмент, тим вищою повинна бути його стійкість.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні елементи режиму різання при точінні.
2. Назвіть особливості стружкоутворення для різних видів матеріалів.
3. Як впливає величина кута в плані ϕ на процес різання?
4. За яких умов відбувається виникнення наросту при точінні?
5. Які складові сил різання ви знаєте і як їх розраховують?
6. Як впливає зміна кута γ на сили різання при точінні?
7. Які основні складові сили різання ви знаєте?
8. Назвіть джерела теплоутворення при обробці пластичних матеріалів.
9. Як впливає мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) на процес різання?

2. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

2.1. Технологічний процес та його складові

2.1.1. Типи виробництв і їх характеристики

Що таке виробничий і технологічний процес?

Виробничим процесом називається весь комплекс дій (окремих процесів), здійснюваних для отримання з вихідних матеріалів і напівфабрикатів готових виробів. Він включає не тільки основні, тобто безпосередньо зв'язані з виготовленням деталей і складанням з них машин процеси, але і усі допоміжні, без котрих неможливо би виготовити продукцію (наприклад, інструментальна і ремонтна служба тощо).

Технологічний процес (ГОСТ 3.1109-82) – це частина виробничого процесу, яка включає дії, що спрямовані на зміну або визначення стану предмета праці. Наприклад, виготовлення заготовок, їх механічна і термічна обробка, складання машин.

У залежності від річної програми випуску, характеру продукції і форми організації праці, розрізняють три основні типи виробництва: одиночне, серійне і масове. Згідно з ГОСТ 3.1108-82 кожен з типів виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{zo} = n_{on} / n_{pm},$$

де n_{on} – кількість різних операцій, виконуваних на виробництві (цеху, дільниці) протягом певного часу (наприклад, місяця); n_{pm} – кількість робочих місць, на яких виконуються ці операції.

Тобто K_{zo} характеризує рівень спеціалізації робочих місць.

При:

$K_{zo} \leq 1$	– масове;
$1 < K_{zo} \leq 10$	– великосерійне;
$10 < K_{zo} \leq 20$	– середньосерійне;
$20 < K_{zo} \leq 40$	– малосерійне;
$40 < K_{zo}$	– одиничне.

При проектуванні нових виробництв або технологічних процесів можна використовувати коефіцієнт серійності K_c , значення якого ідентичні з K_{zo} .

$$K_c = t_{\epsilon} / T_{ш.к.сер},$$

де t_{ϵ} – такт випуску, тобто розрахунковий проміжок часу, через який випускався би виріб, якби його виготовляли безперервно протягом року (тобто, якби це було масове виробництво)

$$t_e = 60F/N, \text{ хв,}$$

де F – дійсний річний фонд робочого часу в рік. Однозмінна робота $F = 2030$ г., двозмінна – $F = 4015$ г. N – річна програма випуску, шт.

$T_{ш.к.сер}$ – середнє значення штучно-калькуляційного часу $T_{ш.к}$ на виконання операцій

$$T_{ш.к.сер} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{ш.к}, \text{ хв.}$$

2.1.2. Одиничне виробництво

Одиничне виробництво (ОВ) за організаційно-технічним рівнем є нижчим типом виробництва. Заводи ОВ не мають чітко визначеної спеціалізації, тобто номенклатура виготовлюваних виробів різна. Кожен виріб, звичайно, виготовляється в одному або декількох екземплярах. Дуже часто це підприємства унікального хімічного машинобудування (колони, великі ємності), металургійного обладнання, турбін, машин для виготовлення паперу, кораблів тощо.

ОВ повинно бути дуже гнучким, тобто легко переналагоджуватися на випуск іншої продукції. Це досягається тим, що ОВ, як правило, оснащується універсальними верстатами, пристроями, інструментами. За організаційною ознакою ОВ організовано за технологічним принципом, тобто на основі дільниць, спроектованих за типом обладнання (дільниця токарних верстатів, фрезерних, шліфувальних). Така форма організації праці дуже гнучка, але викликає труднощі через дуже складний і заплутаний маршрут транспортування заготовки на заводі, чого треба уникати.

Ступінь розробки технологічного процесу в ОВ знаходиться на рівні маршрутної технології, тобто розробляються маршрутні технологічні карти, в яких технологом указуються тільки в якому цеху (дільниці) виконуються операції і їх назва (вертикально-фрезерна, токарно-револьверна, радіально-свердлильна), іноді з показанням, які поверхні необхідно обробити. Як обробити заготовку верстатник і майстер вирішують самостійно на робочому місці (переходи, режими тощо). Звідси впливають високі вимоги до кваліфікації робітників-верстатників.

Норма часу на виготовлення виробів в ОВ максимальна, тому що не застосовується високопродуктивне обладнання і пристрої, багато часу витрачається на підготовку інструменту і обладнання, вивчення креслень тощо.

Для підвищення продуктивності праці в ОВ та малосерійному виробництві застосовують:

- використання верстатів з ЧПК;
- універсальні збірні пристрої (УЗП), тобто коли з комплекту УЗП можна скласти необхідні пристрої за типом „дитячого конструктора”;
- універсальні механізовані пристрої (лещата, ділильні головки, поворотні столи тощо).

2.1.3. Серійне виробництво

У серійному виробництві (СВ), на відміну від ОВ, уже чітко задана річна програма випуску і номенклатура виробів, що випускаються. Але випускаються ці вироби не весь час, тобто безперервно, як у масовому виробництві, а окремими серіями, що регулярно повторюються. Серія – це певна кількість виробів, що виготовляються за однією документацією.

Щоб вироби випускались рівномірно, то їх оброблюють партіями

$$n = \frac{Na}{F_g},$$

де n – кількість виробів (деталей) у партії, N – річна програма випуску, шт., F_g – дійсний річний фонд робочого часу в днях (254 робочих днів), a – кількість днів, на які необхідно мати запас деталей на складання машин (найчастіше 2–12 днів).

На підприємствах СВ випускають біля 80 % усієї продукції. Тому СВ розділяють на: малосерійне – МСВ, середньосерійне – ССВ і великосерійне – ВСВ виробництва. До цього типу відносять виробництво багатьох хімічних машин, що випускаються окремими серіями по 5–10 і більше машин, які повторюються, виробництво насосів, пресів, вентиляторів, верстатів тощо.

За організаційно-технічним рівнем СВ займає проміжне місце між одиничним і масовим виробництвом, причому МСВ впритул підходить до ОВ, а ВСВ – до МВ.

У серійне виробництво запускають конструктивно відпрацьовані машини, на які розроблено ТУ, але вони ще не доведені до ГОСТ-ів.

У СВ застосовують як універсальні, так і спеціалізовані переналагоджувані верстати (наприклад, токарно-револьверні, токарні гідрокопіювальні, верстати з ЧПК), пристрої та інструменти.

У СВ застосовується предметно-замкнена компоновка дільниць, тобто дільниця механічного цеху організується для випуску деталей одного класу (наприклад, корпусних деталей, валів, шестерень). Обладнання на дільниці розміщують у порядку виконання операцій, тобто воно утворює технологічний ланцюг. Заготовки між верстатами

передаються партіями, які за обсягом менші від серій. Якби партія деталей дорівнювала серії, то на початку складальні дільниці були б недовантажені, а в кінці виготовлення – перевантажені, що могло би викликати штурмівщину, брак. Найчастіше верстатник отримує на обробку партію заготовок, оброблює їх, а після разом у тарі передає на наступну операцію або на склад.

Виключення складає потокова-серійна організація виробництва, характерна для ВСВ. Тут на обробку однієї деталі налагоджується не один верстат, як вище, а уся потокова лінія. Заготовки від верстата до верстата, завдяки синхронізації часу обробки на кожній операції, передаються поштучно.

Технологічний процес в умовах СВ повністю проробляється технологом з показанням послідовності обробки, переходів, режимів різання, пристроїв тощо. Розробляються маршрутні і операційні технологічні карти.

2.1.4. Масове виробництво

Це виробництво, в якому вироби виготовляють безперервно протягом року у відносно великих кількостях. Звичайно заводи масового виробництва (МВ) випускають вироби одного типу, або навіть одного типорозміру (автомобілі, трактори, сільськогосподарські машини, велосипеди, побутову техніку тощо). Ці вироби конструктивно старанно дороблені і часто доведені до стандартів. У МВ застосовують тільки спеціальне і спеціалізоване обладнання, пристрої та інструменти.

Форма організації праці в МВ – предметно-замкнені дільниці у вигляді поточкових або автоматичних ліній, в яких обладнання розміщено за ходом технологічного процесу. Час обробки на кожному верстаті синхронізований і рівний або кратний тактові випуску продукції з лінії. У поточкові лінії часто включають термічне, зварювальне, фарбувальне та інше обладнання.

Для раціональної побудови технологічного процесу застосовують:

- *диференціацію* – тобто розділення технологічного процесу на елементарні операції, кратні тактові випуску;
- *концентрацію* – тобто об'єднання операцій для обробки на високопродуктивному багатошпиндельному і багатопозиційному обладнанні.

Технологічний процес у масовому виробництві детально допрацьований технологами і пронормований нормувальниками. Налагодження обладнання виконують висококваліфіковані наладчики, але

кваліфікація робітників-верстатників дуже низька. Часто їх функції зводяться до натискання кнопок. Транспортування заготовок між верстатами досконале.

Незважаючи на великі початкові витрати, МВ економічно найбільш ефективно.

2.1.5. Елементи технологічного процесу

Згідно з ГОСТ 3.1109-82 основним елементом технологічного процесу (ТП) є операція.

Технологічна операція (операція) – це закінчена частина ТП, що виконується на одному робочому місці (без знімання заготовки з верстата) одним або кількома робітниками.

Крім операції важливими є наступні елементи ТП.

Технологічний перехід (перехід) – закінчена частина технологічної операції, яка виконується одним і тим ж засобами технологічного оснащення при незмінних технологічних режимах і установі. Тобто, якщо змінюється оброблювана поверхня, режим або різальний інструмент, то це новий перехід (рис. 2.1, 2.2).

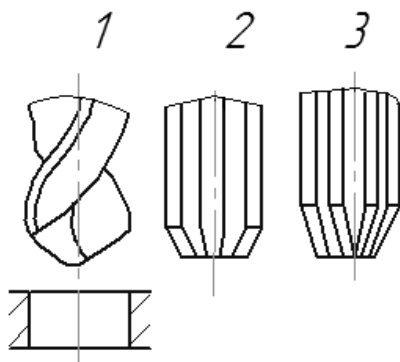


Рис. 2.1. Обробка отвору трьома різними інструментами за три переходи

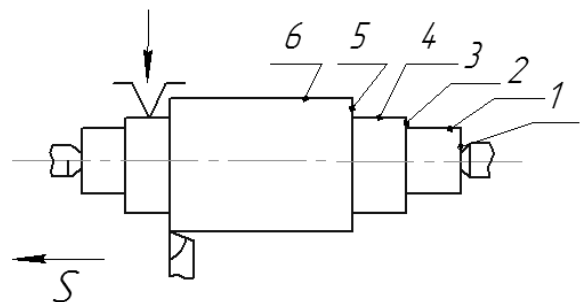


Рис. 2.2. Обробка трьох уступів вала одним різцем за три переходи

Допоміжний перехід – це закінчена частина технологічної операції, яка складається з дій людини або обладнання, які не супроводжуються зміною властивостей предмета праці, але необхідні для виконання технологічного переходу. Наприклад, закріплення заготовки, зміна різального інструмента тощо.

Установ – це закінчена частина технологічної операції, яка виконується при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки або складальної одиниці, що складається (рис. 2.3).

Позиція – це фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка, або складальна одиниця, разом з пристроєм відносно інструменту або нерухомої частини обладнання при виконанні певної частини операції (рис. 2.4).

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки, яке супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні або властивостей заготовки.

Допоміжний хід – закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки (при якому не змінюється стан предмета праці), яке необхідне для підготовки робочого ходу.

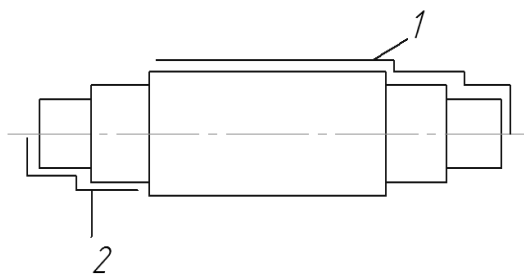


Рис. 2.3. Поверхні 1 і 2 вала, які оброблюються при різних установах

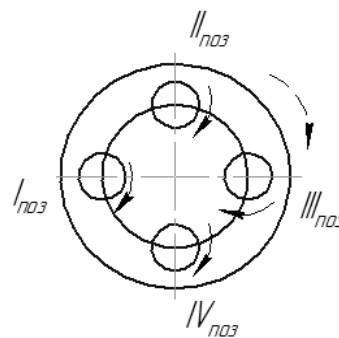


Рис. 2.4. Позиції, які по чергово займає заготовка при обробці на 4-шпиндельному токарному автоматі

Прийом – це закінчена сукупність дій людини, що застосовується при виконанні переходу або його частини і об'єднана одним цільовим призначенням.

Розрізняють дві основні форми організації технологічного процесу:

- групова, що характеризується однорідністю конструкторсько-технологічних ознак виробів, спеціалізацією робочих місць для виконання подібних операцій, єдністю засобів технологічного оснащення;
- потокова, що характеризуються спеціалізацією кожного робочого місця для виконання однієї операції, синхронізацією часу обробки на кожному робочому місці, послідовним розміщенням робочих місць за техпроцесом.

2.1.6. Складові робочого часу і технічні норми на їх виконання

Під технічним нормуванням розуміється визначення норми (витрати) часу, необхідного для виконання даної роботи (ГОСТ 3.1109-82).

Звичайно норма часу визначається для конкретної операції. Сумуючи трудомісткість окремих операцій, можна визначити трудомісткість виготовлення деталі, вузла, машини.

Норма штучного часу $T_{ш}$ на операцію при виконанні верстатних робіт у масовому виробництві визначається за формулою

$$T_{ш} = T_o + T_{\partial} + T_{об} + T_{в}, \text{ хв.}$$

Ця формула включає наступні складові.

T_o – *основний час*, який витрачається безпосередньо на зміну стану виробу. При точінні це час на зрізування стружки, тобто на виконання корисної роботи. Його визначають за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S_{хв}} = \frac{(l + l_{ер} + l_{пер}) \cdot i}{S_o \cdot n}, \text{ хв,}$$

де l , $l_{ер}$, $l_{пер}$ – відповідно, довжина оброблюваної поверхні, врізання і перебігу різця (рис. 2.5);

L – загальна довжина переміщення різця, мм; i – кількість переходів; $S_{хв}$ і S_o – відповідно, хвилинна і подача на оберт; n – частота обертання шпинделя, хв^{-1} .

У T_o також включають час на зрізування пробних стружок, а також на допоміжні ходи інструмента в довбальних і стругальних верстатах, що передбачені схемою різання.

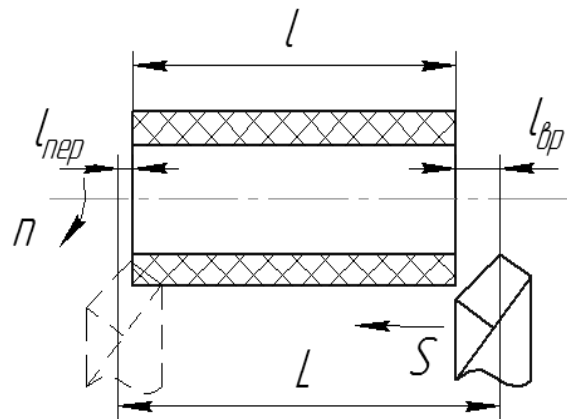


Рис. 2.5. Схема до розрахунку основного часу T_o при точінні

T_{∂} – *допоміжний час*, що витрачається на дії, без котрих неможливо виконати основну роботу. Він включає час, що витрачається на дії верстатника, які забезпечують виконання основної технологічної роботи в операції: час управління верстатом – пуск в хід, зупинка, перемикання n і S , тощо; час на установлення, закріплення і знімання виробу, заміну інструмента, зв'язану з виконанням переходу та інше; час на переміщення інструмента – підведення та відведення; час на вимірювання деталі.

Для підвищення продуктивності T_{∂} перекривають T_o , для чого застосовують багатомісні пристрої, вимірювання розмірів однієї деталі під час обробки іншої тощо. На комплекс прийомів T_{∂} розроблені табличні норми.

Суму основного та допоміжного часу називають *оперативним часом*

$$T_{он} = T_o + T_{\partial}.$$

На обслуговування робочого місця витрачається додатковий час – час обслуговування $T_{об}$.

$T_{об}$ – час обслуговування, що витрачається на обслуговування робочого місця і складається з часу технічного обслуговування і часу організаційного обслуговування

$$T_{об} = T_{техн.об} + T_{орг.об}.$$

$T_{техн.об}$ включає час на підналагоджування і регулювання верстата в процесі роботи, час на заміну інструмента, що затупився, і його доводку бруском, час на видалення стружки в процесі роботи.

$T_{орг.об}$ включає час на розкладування інструментів на початку роботи і їх прибирання після закінчення зміни; час на чищення і змазування верстата, його техогляд і випробування.

T_v – час перерв на власні потреби (відпочинок та природні необхідності).

Звичайно ($T_{об} + T_v$) береться у відсотках від оперативного часу і складає $q = (6-12 \%) T_{он}$ у залежності від умов праці.

Таким чином, штучний час $T_{ш}$ визначає трудомісткість виконання операції в масовому виробництві. Цей комплекс робіт зв'язаний з кожною заготовкою.

У серійному виробництві, коли вироби виготовляють не безперервно, а партіями по n штук, є комплекс підготовчо-заклучних робіт $T_{н.з}$, які виконуються один раз для усієї партії виробів. Вони включають налагоджування верстата на партію виробів, знайомство з кресленнями і технологічною документацією тощо ($T_{н.з}$ в масовому виробництві не враховується).

Остаточню штучно-калькуляційний час $T_{ш.к}$ на виконання операції в серійному виробництві визначають за формулами

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{н.з}}{n} = T_o + T_d + T_{об} + T_v + \frac{T_{н.з}}{n} = T_{он} \left(1 + \frac{q}{100}\right) + \frac{T_{н.з}}{n}.$$

Як і при точінні, визначають норми часу при інших видах обробки.

Застосовують два методи нормування робіт (розрахунково-аналітичний та дослідно-статистичний).

Розрахунково-аналітичний, тобто визначення норм часу за формулами і нормативними таблицями.

Дослідно-статистичний, коли норму часу визначають на основі спостережень за процесом виконання даної роботи (хронометраж, фотографія робочого дня тощо). Його застосовують, коли немає даних для аналітичного розрахунку або його недоцільно використовувати.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які типи виробництв ви знаєте і як їх визначають?
2. Назвіть основні характеристики одиничного виробництва.
3. Назвіть основні характеристики серійного виробництва.
4. Назвіть основні характеристики масового виробництва.
5. Назвіть основні елементи технологічного процесу.
6. Назвіть складові робочого часу і технічні норми на їх виконання.

2.2. Розробка технологічного процесу механічної обробки різанням

Наявність комплектів стандартів “Єдина система технологічної підготовки виробництва” (ЄСТПВ, позначаються як ГОСТ 14.301-83) – це комплекс стандартів і керівних нормативних документів, які встановлюють основоположні зв'язки, правила і положення по організації і управлінню ТПВ, а також “Єдина система технологічної документації” (ЄСТД, позначаються як ГОСТ 3.1001-2011) передбачає чітко виражений порядок технологічної підготовки виробництва (ТПВ), що включає і розробку технологічного процесу (ТП).

Для розробки ТП необхідні такі вихідні дані:

- відпрацьована конструкторська документація з показанням форми, розмірів і точності виробу, його матеріалу, технічних вимог до виготовлення тощо;
- річна програма виготовлення або тип виробництва;
- наявне обладнання, пристрої, інструменти;
- типові технологічні процеси, які застосовуються на підприємстві.

Згідно з ГОСТ 14.301-83 розробку технологічного процесу виготовлення деталі виконують у такій послідовності.

Аналіз вихідних даних для розробки ТП.

Він включає аналіз призначення деталі та її конструкції, аналіз технологічності деталі з урахуванням програми випуску. Цю роботу виконує конструктор ще на стадії проектування. Він узгоджує питання з технологами про те, наскільки технологічна деталь і як найбільш раціонально виготовити її в даних виробничих умовах, виходячи з висунутих до неї технічних умов експлуатації.

Визначення типу виробництва.

Вибір підходящого діючого типового, групового ТП, або пошук аналога одиничного технологічного процесу.

Вибір вихідної заготовки і способів її виготовлення (литво, кована або штампована заготовка, прокат тощо).

Вибір технологічних баз.

Складання технологічного маршруту обробки (маршрутної технології) і оформлення першого технологічного документа - маршрутної технологічної карти (рис. 2.6), в якій приводяться дані про заготовку, норми розходу матеріалу, найменування операції (без переходів) з показанням цехів і дільниць, застосовуване обладнання, пристрої, інструменти, кваліфікацію верстатника, норми часу і розцінки. Проте в маршрутній карті не наведені переходи і режими різання.

Розрахунок або призначення припусків на обробку поверхонь, тобто визначення товщини шару металу, який необхідно зрізувати.

Визначають розміри заготовки, сумуючи припуски по переходах, передбачаючи необхідні уклони, напуски, радіуси переходів між поверхнями тощо. Розробляють креслення заготовки.

Розробляють технологічні операції, тобто усі операції розбивають на установи, позиції, переходи, уточнюють моделі верстатів, пристрої і інструменти; призначають за довідниками або розраховують режими різання за переходами і норми часу; визначають розряди верстатників і розцінки. На цьому етапі розробляють другі технологічні документи – операційні карти механічної обробки (рис. 2.7). До операційних карт, складених окремо для кожної операції, додають треті технологічні документи – карти ескізів (рис. 2.8), які включають ескіз заготовки в робочому положенні з показанням базових і оброблених поверхонь, їх розмірів, допусків і шорсткості.

Розробляють конструкцію і розраховують пристрої, спеціальні інструменти тощо.

Організують виробничі дільниці для виготовлення деталей, виготовляють оснастку, призначають транспортування виробів та відходів.

Остаточно коректують ТП і оформляють технологічну документацію.

Технологічна підготовка виробництва потребує великих матеріальних затрат і часу. Наприклад, технологічна підготовка до випуску літака АН-24 коштувала біля 750 млн. гривень і проводилась протягом декількох років. ТПВ автомобіля коштує ~ 250 млн грн і більше, з урахуванням того, що 75–85 % матеріальних цінностей переходить з попередніх технологічних процесів.

[illegible]

ГОСТ 3. 1105-84 Форма 7а									
Дубл.									
Взам.									
Ориг.									
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> MT 31. 5 </div>									
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 01100. 00215 </div>									
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> АБВГ. ххххх. хххх 20141. 00011 010 </div>									

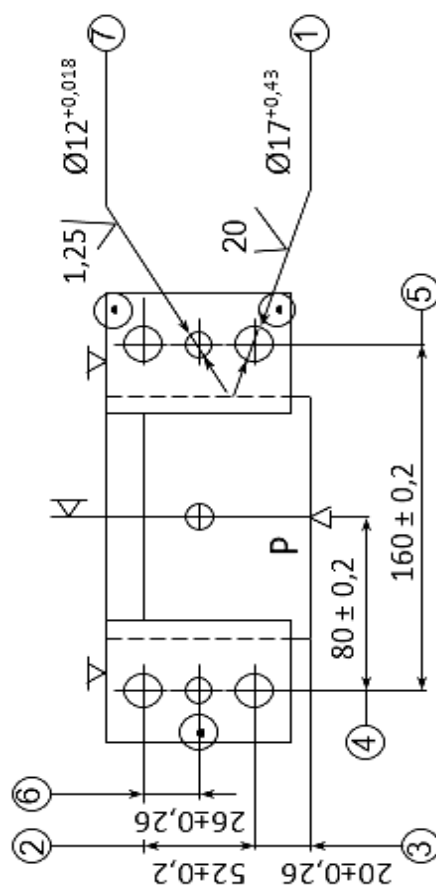


Рис. 2.8. Приклад заповнення карти ескізів

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які вихідні дані необхідні для розробки технологічного процесу?
2. Яка послідовність розробки технологічного процесу?
3. На базі яких документів проводять розробку технологічного процесу?
4. Які вихідні дані необхідні для розробки маршрутної технології?
5. Що включає в себе маршрутна технологічна карта?
6. Що включає в себе операційна технологічна карта і карта ескізів обробки?

2.3. Вибір заготовок

2.3.1. Загальні положення

При виборі методу виготовлення заготовок необхідно враховувати наступні фактори.

Матеріал деталі. Наприклад, заготовки з чавуну отримують литтям, заготовки з сталі – методом пластичної деформації, рідше литтям та зварюванням.

Конфігурацію деталі. Наприклад, порожнистий корпус кувати не можна, а його відливають. Заготовки валів найчастіше отримують методом пластичної деформації або з прокату, порожнистих шпинделів – з труб.

Програму випуску деталей, або тип виробництва. Наскільки більша річна програма випуску, настільки досконаліший спосіб виготовлення заготовок можна застосувати, тому що висока вартість прес-форм, штампів або ливарних моделей буде рознесена на велику кількість заготовок.

У загальному випадку необхідно старатись максимально наблизити форму заготовки до форми готової деталі, але при цьому повна собівартість виготовлення деталі, що складається з вартості матеріалу, вартості отримання заготовки і вартості її механічної обробки, повинна бути мінімальною.

У хімічному машинобудуванні найчастіше використовують заготовки з прокату, литі, ковані та зварювані заготовки.

2.3.2. Заготовки з прокату

Їх використовують для виготовлення валів, тяг, важелів, для дальшої обробки штампуванням; листовий прокат – для виготовлення ємностей тощо.

Наша промисловість випускає круглий прокат Ø 5–250 мм, квадратного перерізу з стороною квадрата 8–250 мм, шестигранний прокат з розміром під ключ 3–100 мм, товстостінні безшовні труби Ø 25–820 мм,

штабовий прокат, листовий прокат, прокат - кутик, таврового і двотаврового перерізу, прокат інших складних профілів.

Перед розрізуванням прокату на мірні заготовки його, при необхідності, виправляють. Листовий прокат виправляють на багатовалкових листопрямильних вальцях (рис. 2.9, а), які мають два ряди валків, розміщених у шахматному порядку. Після пропускання листа між валками стріла його прогину не перевищує 1–2 мм на одному метрі довжини.

Прутки круглого перерізу виправляють на багатороликових правильних машинах з угнутими роликами (рис. 2.9, б). При цьому стріла прогину складає 0,5–0,9 мм на один метр довжини.

Для виправлення бухтового матеріалу (дроту) застосовують роторні правильно-відрізні машини, у яких дріт разом з бухтою обертається навколо поздовжньої осі. Дріт малого діаметра (до 5 мм) виправляють на токарних верстатах за допомогою зігнутої трубки (рис. 2.9, в). Відрізані заготовки довжиною до 200 мм виправляють плоскими плашками на плосконакатних верстатах (рис. 2.9, г).

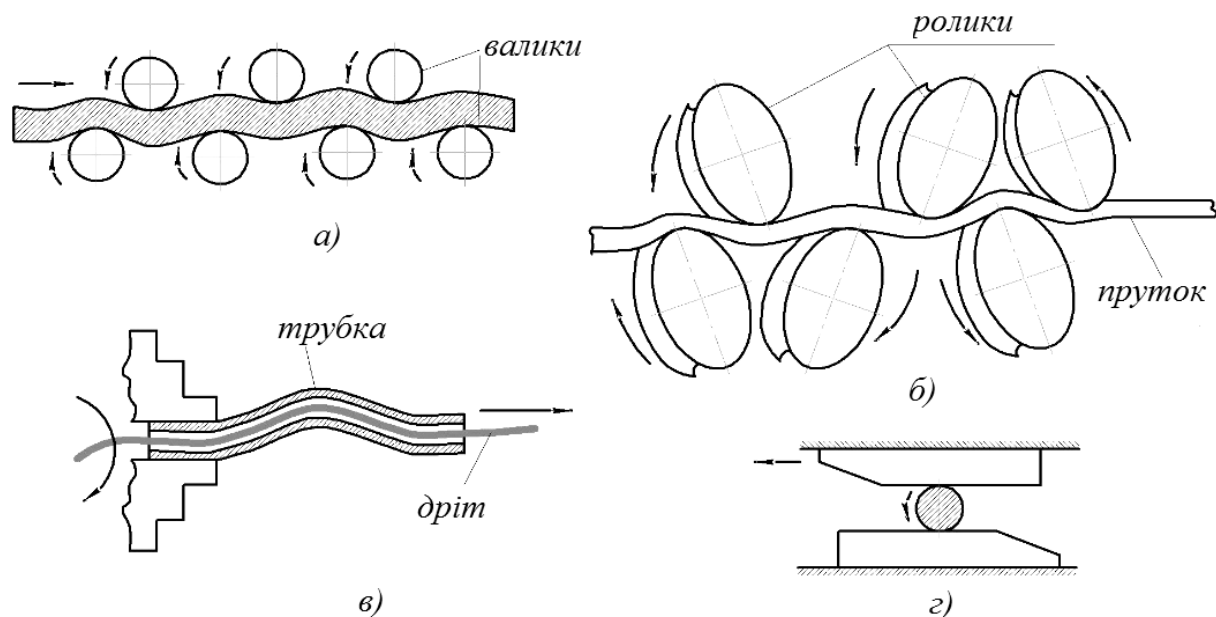


Рис. 2.9. Схеми виправлення прокату

Відрізування на токарних та токарно-відрізних верстатах дозволяє отримати мірні заготовки (рис. 2.10, а), тобто заготовки певної, досить точної довжини. Воно забезпечує високу якість торця і його перпендикулярність до осі виробу. До недоліків можна віднести те, що відрізування до кінця виконати неможливо, бо в кінці різання заготовка

відламується разом з “хвостиком”, що потребує введення додаткової операції підрізування торця.

Щоб обійтись без підрізування торця, різальну кромку відрізного різця заточують під $\angle \alpha$ (рис. 2.10, б).

Відрізування на токарних верстатах відрізняється низькою продуктивністю, тому що звичайно ширина різця $b = 0.6\sqrt{D}$ різець нежорсткий і подача невелика $S_o = (0.1 - 0.05) * b$

Для підвищення жорсткості різців і збільшення подачі застосовують зміцнені (півникові) різці (рис. 2.11). Крім того, іноді відрізування виконують при зворотному обертанні шпинделя (рис. 2.12), коли сила P_z притискає шпиндель до підшипників і вібрації зменшуються.

Відрізування дисковими пилами на відрізних верстатах (рис. 2.13). Це високопродуктивний спосіб і можна розрізувати прокат великого діаметра, але він має такі недоліки: велика ширина різку, 8–12 мм; перекис торця може сягати 2 мм на діаметрі 100 мм; неможливо отримати точну довжину заготовки; дорогий інструмент.

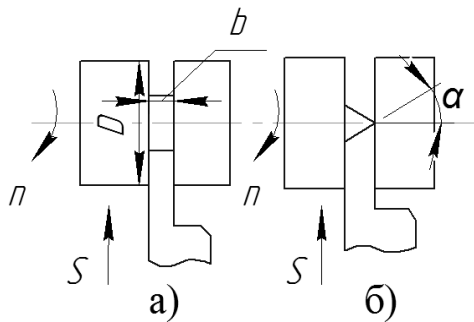


Рис. 2.10. Відрізування заготовок на токарних верстатах різцями з прямими (а) і скошеними (б) різальними кромками

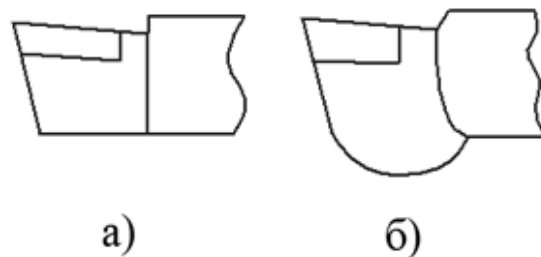


Рис. 2.11. Відрізні різці звичайні (а) і підвищеної міцності (б)

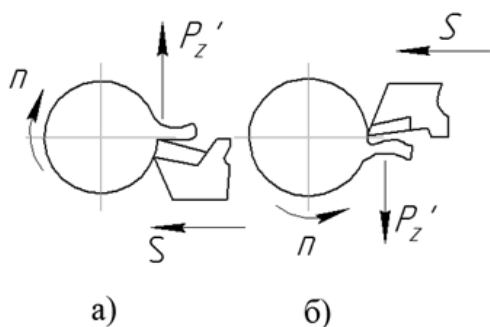


Рис. 2.12. Відрізування заготовок при прямому (а) і зворотному (б) обертанні шпинделя

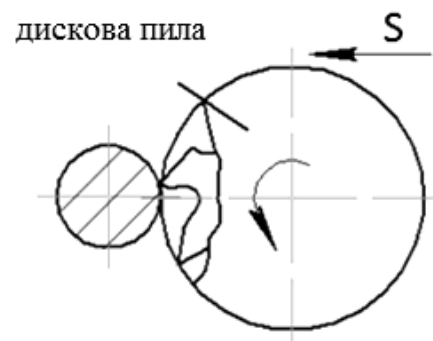


Рис. 2.13. Розрізування прокату дисковою пилою

Відрізування приводними механічними ножівками. Це дуже простий спосіб і дешевий інструмент, забезпечує малу ширину різку (1,5–2,5 мм). Його недоліки: низька продуктивність через нежорсткий інструмент; неможливо отримати мірні заготовки; потрібне додаткове торцювання через низьку якість зрізу. Для підвищення продуктивності декілька прутків одночасно закріплюють в лещатах з призматичними губками.

Відрізування на стрічкових пилах більш продуктивне, ніж приводними ножівками, через відсутність холостих ходів і більшу швидкість різання. Для розрізування листового прокату застосовують верстати з вертикальним напрямом руху пили (рис. 2.14), а для розрізування прутків, швелерів і іншого стержньового прокату – верстати з горизонтальним напрямом руху. Воно забезпечує вищу точність і низьку шорсткість поверхні різку, малу ширину пропилу (до 1 мм), можна вирізати заготовки складного контуру, але через невисоку жорсткість інструмента неможливо застосувати великі подачі на зуб.

Сучасні верстати різних розмірів з стрічковими пилами товщиною від 0,65 до 1,6 мм розрізають круглі заготовки діаметром до 230–1000 мм під різними кутами, при швидкості руху полотна – 20–100 м/хв, продуктивність різання – до 30 м/хв. Найчастіше стрічковими пилами розрізають листи з кольорових сплавів, пластмас. Широко застосовують для відрізування ливників та додатків у виливків з кольорових сплавів. Останнім часом стрічкові пили все ширше застосовують для розрізування сталевих прокату.

Розрізування прокату дисковими фрезами на фрезерних верстатах, коли на оправці горизонтально-фрезерного верстата установлюють декілька фрез (рис. 2.15). Цей спосіб забезпечує високу продуктивність, високу якість поверхні різку, що не потребує подальшої обробки, високу точність заготовок, малу ширину різку (2 мм). Але потребує дорогого обладнання, інструменту та високої кваліфікації верстатника.

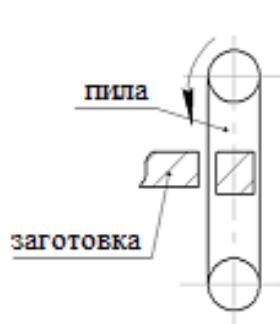


Рис. 2.14. Розрізування прокату стрічковою пилою

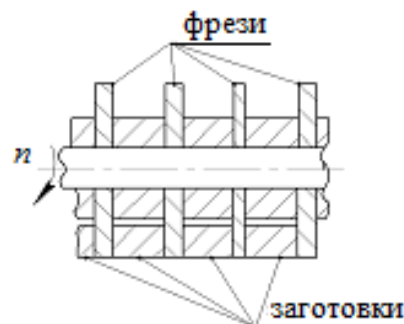


Рис. 2.15. Розрізування прокату фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах

Розрізування металу гладкими фрикційними пилами-дисками товщиною 2–3 мм і діаметром 1–1,8 м, що обертаються з коловою швидкістю 120–150 м/с. Воно базується на тому, що в зоні контакту пили і заготовки температура якої внаслідок тертя підвищується до 1200 °С. При цьому матеріал заготовки розм'якшується і виноситься із зони різання у вигляді снопу іскор. Диски виготовляють з м'якої сталі або міді. Внаслідок нетривалого контакту із заготовкою, диски не сильно нагріваються і мало зношуються. Цей спосіб відрізняється простотою, можна розрізати дуже тверді сталі, дуже висока продуктивність (наприклад, двотаврова балка висотою 450 мм розрізається за 55 с). Але через дуже неякісну оплавлену поверхню різу і низьку точність, застосовується, в основному, в металургії.

Розрізування металу гнучкими абразивними дисками на вулканітовій зв'язці товщиною 1–4 мм, діаметром 200–400 мм, при швидкості різання 60–80 м/с. Відрізняється високою продуктивністю і можна розрізати заготовки з загартованих сталей. Недоліки: низька якість різу (можуть утворитися припали), висока вартість інструмента і низька його стійкість. Застосовується в інструментальному виробництві для відрізування заготовок свердел, мітчиків тощо.

Розрізування на приводних ножицях застосовують для розрізування листового прокату товщиною до 40 мм і шириною до 3 м, а на пресах розрізають прутки діаметром до 150 мм (з підігрівом до 600–700 °С) за виключенням порожнистих заготовок. Достоїнства: простота і дуже висока продуктивність. Недоліки: низька якість поверхні різу внаслідок зминання поверхонь заготовок і утворення задилок, низька точність – 1–2 мм. Для поліпшення якості різу застосовують плити з фасонними отворами.

Газове (кисневе) різання металів застосовується для розрізування як листового прокату, так і відрізування ливників і додатків у сталевих виливків. Спосіб відрізняється високою продуктивністю, можна розрізати сталеві листи товщиною до 150–300 мм, можна виконувати фасонне розрізування листів, у тому числі і на установках з ЧПК. Недоліки: дуже низька якість поверхні різу, яка дуже тверда і оплавлена на глибині 2–5 мм; погано ріжуться кольорові сплави і нержавіючі сталі. Для них застосовують плазмове різання при температурі біля 4000 °С.

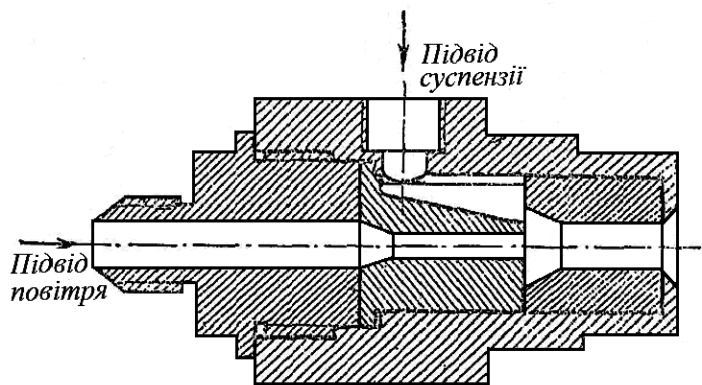


Рис. 2.16. Форсунка для гідроабразивної обробки

Сучасні верстати з ЧПК, які призначені для газового та плазмового різання, за програмою виконують фасонне розрізування листів які мають розміри 3х7 м (і більше). Товщина розрізуваних листів при кисневому різанні сягає 300 мм, при плазмовому – 160 мм. Швидкість фігурного розрізування металу в межах 1–6000 мм/хв, швидкість позиціонування – 8000 мм/хв.

Гідроабразивна обробка (ГО) застосовується для розрізування металів і неметалів, для завершальної обробки складних фасонних поверхонь рідинним притиральним шліфуванням (лопаток турбін та реактивних двигунів, лопатей вентиляторів і насосів), для знімання задирок тощо. Суть процесу в тому, що за допомогою спеціальної форсунки (рис. 2.16) на оброблювану поверхню під високим тиском повітря подається потужний струмінь рідини з абразивом. При ударі зерен абразиву об оброблювану поверхню з неї знімається метал і забезпечується шорсткість обробленої поверхні до R_a 0,63–0,16 мкм. Крім того, зміцнюється поверхневий шар на глибину до 50 мкм, а його твердість збільшується на 15–20 % [18]. При обробці сталей 38ХА та ЭИ69 за 4 хв з площі 100 см² знімається шар металу товщиною 0,2 мм.

При обробці складних поверхонь ефективна суспензія такого складу: вода – 65 кг, електрокорунд – 33 кг, сода – 2 кг, нітрид натрію – 0,4 кг. Рідину подають у форсунку під тиском 0,08 = 0,1 МПа, тиск повітря при цьому – 0,45 МПа [18].

Останнім часом гідроабразивну обробку (ГО) застосовують для розрізування особливо твердих, крихких та інших матеріалів. На сучасних верстатах з ЧПК для ГО можна розрізувати матеріали з різним хімічним складом товщиною 1–250 мм; швидкість обробки – 0,02–8 м/хв; тиск підводжуваної води – 0,2–0,4 МПа; діаметр сопла – 0,18–0,45 мм; максимальний робочий тиск – 400 МПа; потужність такої установки складає – 35 кВт. При гідроабразивній обробці забезпечується точність контуру до $\pm 0,1$ мм.

2.3.3. Литі заготовки

Їх застосовують в усіх типах виробництва для отримання заготовок корпусних деталей, а також інших заготовок з чавуну, сталі, кольорових сплавів (Al, Cu, Zn, Mg). Проте міцність литих сталевих заготовок приблизно на 30 % менша ніж кованих, що дещо обмежує їх застосування.

З усіх литих заготовок за масою 74 % їх отримують з чавуну, 21 % зі сталі, 3 % з ковкого чавуну і 2 % з кольорових металів; 75 % виливків переважно отримують литтям у піщано-глинисті форми, 20 % – у металеві і 5 % – у інші.

Для виготовлення виливків широко застосовують наступні способи.

Лиття в піщано-глинисті форми з ручним формуванням за дерев'яними моделями. Це найпростіший і дешевий спосіб, широко розповсюджений в одиничному і малосерійному виробництві. Якщо вартість 1 т середніх виливків з сірого чавуну прийmemo за 1, то вартість аналогічних виливків з алюмінієвих сплавів – 6 (за рахунок високої вартості сплавів), з ковкого чавуну – 1,3, з сталі 20Л – 1,6.

Його недоліки: низька точність заготовок, переважно 12–13 класу точності за ГОСТ 26645-85 (а їх усього 16); дуже низька якість поверхневого шару (з точки зору технолога) у вигляді ливарної кірки з вкрапленнями піску, яка має високу твердість, вибілювання і стійкість проти стирання. З іншого боку, це найбільш міцний шар і, залишаючи максимальну кількість необроблених литих поверхонь, ми зміцнюємо деталь. При обробці різанням литих поверхонь глибина різання повинна бути більшою від товщини кірки, тобто треба різати „під кірку”.

Лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням за металевими моделями. Щодо виникнення кірки, то воно має ті ж достоїнства і недоліки що і попередній спосіб, але точність виливків значно вища і відповідає 9–11 класові, довговічніші моделі, вища продуктивність. Застосовується в ССВ, ВСВ і МВ, особливо при литті чавуну і сталі. Легко автоматизується.

Лиття в багаторазові металеві форми (кокілі) застосовується, переважно, для кольорових сплавів, рідше чавунів, у ВСВ, МВ, іноді ССВ. Спосіб відрізняється досить високою продуктивністю, високою точністю виливків, що відповідає 12–14 квалітетові, і високою якістю поверхонь. Але металеві форми дорогі і окупаються при програмі випуску не менше 300 виливків. Кокілі відрізняються низькою стійкістю: при литті сталі вона складає 60–100 виливків, чавуну – 100–500 виливків, але при литті алюмінієвих сплавів – біля 50000 виливків. Для підвищення стійкості кокілів застосовують різні покриття і футеровані форми. Відносна вартість лиття в кокілі – 1.

Лиття під тиском застосовують у ВСВ і МВ для виготовлення виливків з кольорових сплавів (Al, Cu, Zn, Mg) масою до 50–100 кг. Достоїнства способу: висока точність, що відповідає 10–12 квалітетові, і низька шорсткість поверхонь в межах Ra 2,5–5 мкм; дуже висока (найвища) продуктивність праці зо рахунок малих припусків на обробку у межах 0,8–1 мм. Недоліки: висока вартість прес-форм; не ллються чорні метали; обмежена конфігурація виливка. Відносна вартість виливків з алюмінієвих сплавів – 5–6 (за рахунок високої вартості металу).

Відцентрове лиття застосовують для виготовлення порожнистих заготовок типу тіл обертання (труби, втулки, гільзи, корпуси сушильних і

каландрових валів) з чорних і важких металів. Принцип роботи – у форму, що обертається, заливають метал, який під дією відцентрових сил розтікається і заповнює форму, а легкі домішки спливають на внутрішній поверхні. Достоїнства способу: дуже якісна структура виливка, відсутність раковин і підвищені механічні властивості; висока точність зовнішніх поверхонь (як при литті в кокілі). Недоліки: обмежена конфігурація заготовок; низька точність і якість внутрішніх поверхонь (припуск на їх обробку не менший 4 мм); ліквіація хімічних елементів в перерізі виливка. Застосовують у ВСВ і МВ.

Лиття в оболонкові форми з суміші кварцевого піску і пульвербакеліту, який при нагріванні до 300–350 °С безповоротно твердіє. Спосіб переважно застосовується для виготовлення виливків з сталей та чавунів, відрізняється високою точністю, що відповідає 12–14 квалітетові. Виробіток на одного робітника збільшується в 3–4 рази у порівнянні з литтям у піщано-глинисті форми. Це спосіб лиття в разові форми, який легко автоматизується. Його недоліки: висока вартість обладнання, формувальних сумішей і форм; токсичність пульвербакеліту. Тому його застосовують у ВСВ і МВ для виготовлення виливків розміром до 80 см.

Лиття за моделями, що виплавляються. З легкоплавкого матеріалу (наприклад парафін, стеарин) виготовляють разову модель заготовки, яку шляхом багаторазового занурення в рідку суміш кварцевого піску і рідкого скла SiO_2 і сушіння покривають керамічною кіркою. При нагріванні форми з моделлю парафін витікає і утворюється разова порожниста форма, в яку заливають розплав. Достоїнства способу: висока точність виливків, що відповідає 11–12 квалітетові, і низька шорсткість поверхонь виливка, яка дорівнює R_a 2,5–5 мкм; дуже складна конфігурація виливків; нагріта форма добре заповнюється чорними металами (товщина стінок до 1 мм). Недоліки: трудомісткий процес виготовлення, тому відносна вартість при литті заготовок з чавуну – 4–4,5; висока вартість прес-форм для виготовлення моделей. Застосовують в усіх типах виробництва, особливо для виготовлення невеликих сталевих виливків складної форми.

Припуски, допуски і технологічні напуски для литих заготовок визначають за ГОСТ 26645-85.

Технологічність литих заготовок. Під технологічністю розуміють властивість виробу, яка дозволяє при його виготовленні застосувати найбільш прості, продуктивні та дешеві способи виробництва. Технологічність залежить від багатьох факторів та типу виробництва.

При проектуванні технологічних литих деталей конструктор повинен урахувати наступне: вибрати спосіб лиття; визначити положення виливка у формі і призначити площину її рознімання; визначитись з конфігурацією виливка та призначити кількість внутрішніх та зовнішніх

стержнів; призначити товщину стінок, формувальні уклони, радіуси закруглень тощо (рис. 2.17).

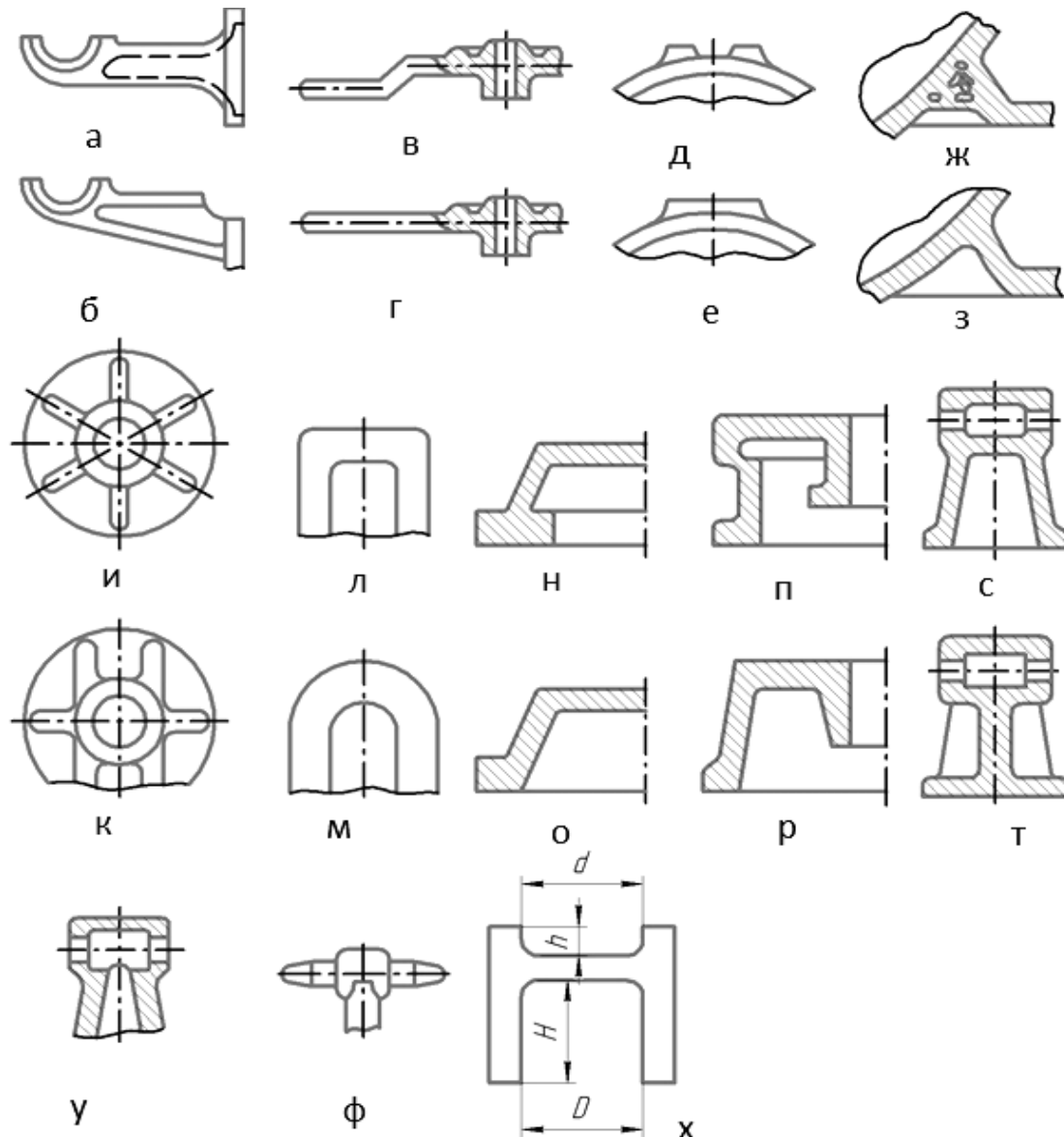


Рис. 2.17. Приклади поліпшення технологічності литих заготовок:

а, в, д, ж, и, л, н, п, с – недостатньо технологічні конструкції заготовок;

б, г, е, з, к, м, о, р, т, у, ф, х – технологічні конструкції заготовок

Лита деталь повинна відповідати таким вимогам:

- конфігурація виливка повинна забезпечити можливість вільного витягання моделі з форми та стержнів з стержньових ящиків;
- на поверхнях, перпендикулярних до площини рознімання форми, передбачають формувальні уклони;

- виливок повинен мати просту форму, без гострих кутів, різких поворотів, високих ребер та виступів, а також мінімальну кількість внутрішніх порожнин;
- необхідно передбачати точне і надійне базування стержнів у формах;
- стінки виливка повинні мати, приблизно, однакову товщину без різких переходів від одного перерізу до іншого і плавно з'єднуватись за допомогою радіусів закруглення;
- на литій деталі необхідно передбачувати мінімальну кількість оброблюваних поверхонь, що не тільки зменшує об'єм обробки різанням, але і підвищує міцність деталі;
- для зменшення внутрішніх напруг, запобігання появи усадочних раковин та дефектів, необхідно забезпечити направлену кристалізацію металу та вирівнювати швидкість твердіння в різних місцях виливка;
- необхідно уникати скупчення металу у вузлах виливка, що, внаслідок повільного охолодження, може викликати появу усадочних раковин, тріщин тощо.

2.3.4. Виготовлення заготовок методом пластичної деформації

Коли застосовують заготовки, отримані методом пластичної деформації?

Ковані і штамповані заготовки доцільно застосовувати в тому випадку, коли перепад діаметрів уступів вала перевищує 20 – 40 мм. Якщо перепад діаметрів менший, за виключенням масового виробництва, то недоцільно отримувати ковані заготовки. Крім того, обробку методом пластичної деформації застосовують при необхідності отримання високих механічних властивостей деталей.

При куванні і штампуванні в якості обладнання застосовують пароповітряні і фрикційні молоти, кривошипні і гідравлічні гарячештампувальні преси, горизонтально-кувальні машини тощо. Обробка на кривошипних пресах більш продуктивна і якісна ніж на молотах. Технічні вимоги до поковок, у залежності від їх призначення і способу контролю, визначають за ГОСТ 8479-85.

Найширше застосовують наступні способи обробки методом пластичної деформації.

Кування (вільне) виконується на молотах або пресах з плоскими або фасонними бойками. Застосовується в ОВ та МСВ і при виготовленні великих заготовок. Воно забезпечує якісну структуру металу і високі фізико-механічні властивості, а також низьку вартість універсального інструмента. Недоліки кування: низька точність і висока шорсткість

поверхонь заготовок; завищені припуски і технологічні напуски; висока трудомісткість операцій; висока кваліфікація ковалів.

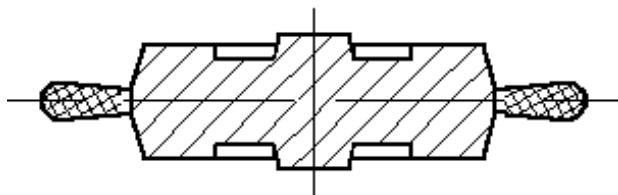


Рис. 2.18. Утворення задирки (облою) при штампуванні

Штампування у відкритих штампах (облойне), яке пов'язане з утворенням задирки (рис. 2.18), коли надлишок металу витискається в площині рознімання штампа у вигляді облою (рис. 2.19, а), який обрізають в обрізному штампі. Прості заготовки штампують в однорівчачових штампах, а складні – в багаторівчачових. Цей спосіб забезпечує високу продуктивність процесу, значно вищу точність і нижчу шорсткість поверхонь, ніж при вільному куванні, зменшення допусків і припусків на обробку в 3–4 рази, не потребує високої кваліфікації ковалів. Але він потребує великих затрат на проектування і виготовлення спеціального інструмента – штамтів. Тому його застосовують у МВ, ВСВ і ССВ, якщо програма випуску не менша 350–400 поковок.

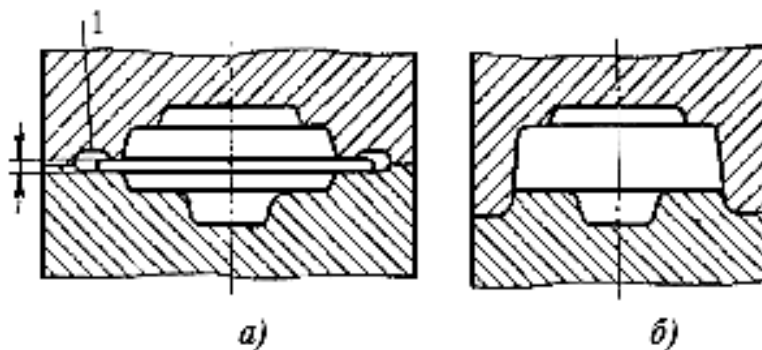


Рис. 2.19. Схеми штампування у відкритих і закритих штампах:
а - штампування у відкритих штампах; б - штампування у закритих штампах;
1 – канавка для облою

Штампування в закритих штампах (безоблойне) (рис. 2.19, б) дозволяє отримувати найточніші заготовки при обробці тиском. Перепад діаметрів уступів вала може сягати 5–10 мм. До недоліків цього способу можна віднести велику вартість штамтів і дуже точну масу вихідної заготовки.

При штампуванні за ГОСТ 7505-89 визначають клас точності заготовки (Т1,...,Т5), ступінь її складності (С1,...,С4), допуски, припуски

на обробку, вихідний індекс, точність взаємного положення поверхонь тощо.

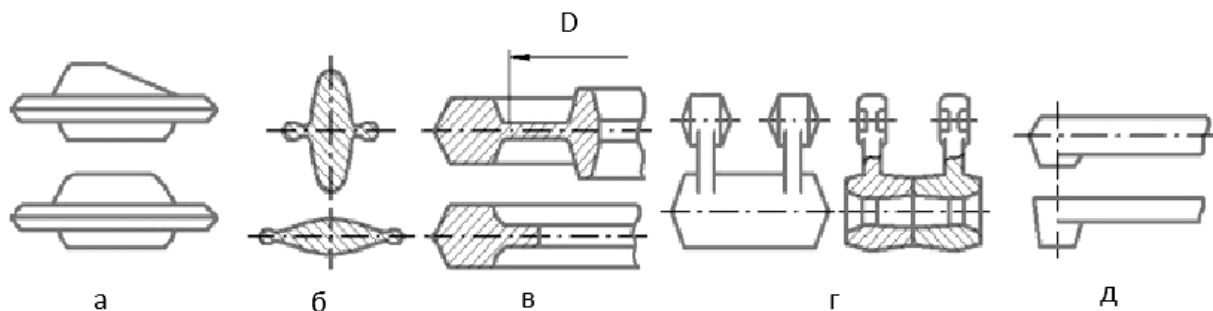


Рис. 2.20. Приклади поліпшення технологічності гарячештапованих заготовок

У кожному конкретному випадку вибір того або іншого способу виготовлення заготовки повинен бути економічно обґрунтованим.

Технологічність штапованих заготовок (рис. 2.20). При конструюванні штапованих заготовок, які виготовляють на молотах і пресах, ураховують наступне:

- геометрична форма заготовки повинна забезпечити можливість її вільного витягання з штампа;
- для поліпшення заповнюваності порожнин ривчаків і полегшення витягування заготовок з штампа, на поверхнях, перпендикулярних до площини рознімання штампа, передбачають штапувальні уклони (при штапуванні на молотах і пресах без виштовхувачів, зовнішні уклони виконують до 7° , а внутрішні – до 10° ; при штапуванні на пресах з виштовхувачами, зовнішні уклони – до 5° , а внутрішні – до 7° ; при штапуванні на горизонтально-кувальних машинах, внутрішні уклони – до 3°);
- бажано, щоб поверхня рознімання штампа була плоскою;
- у площині рознімання штампа повинні знаходитись максимальні габаритні розміри поковки, що поліпшує заповнюваність ривчаків штампа і часто зменшує кількість переходів штапування;
- заглибини та отвори можна виконувати тільки в напрямі руху штампів (найчастіше в ССВ отримують пази, заглибини та отвори діаметром від 30 мм; глибина заглибин при штапуванні на молотах і пресах не перевищує 0,8–1 діаметра отвору; якщо при діаметрі отвору ≥ 30 мм його довжина не перевищує діаметра, то прошивання наскрізного отвору є обов'язковим);
- гострі кути в умовах гарячого об'ємного штапування недопустимі, переходи від однієї поверхні до іншої виконуються з закругленнями

(радіуси закруглення зовнішніх кутів штампованої заготовки приймають за ГОСТ 7505-89, а радіуси закруглень внутрішніх кутів повинні бути у 2–3 рази більші від зовнішніх, щоб не було браку при штампуванні і для підвищення зносостійкості штампів);

- при штампуванні волокна металу повинні вигинатись, а не перерізатись, і бути направленими уздовж поздовжньої осі деталі;
- стінки, ребра та перемички штампованих заготовок не повинні бути тонкими, що не тільки погіршує заповнюваність ривчаків штампів, але й приводить до швидкого охолодження металу і зниження стійкості штампів;
- форма штампованої заготовки повинна бути, по можливості, симетричною, щоб при штампуванні не виникали бокові зсувні зусилля;
- складні деталі іноді доцільно розділити на прості, які після з'єднують зварюванням.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Як вибирають заготовки з прокату і його розрізають?
2. Які способи виготовлення заготовок литтям ви знаєте?
3. Які способи виготовлення заготовок методом пластичної деформації ви знаєте?

2.4. Припуски на механічну обробку різанням

2.4.1. Припуски, допуски, їх розміщення на деталі

Припуском на обробку називають шар металу на поверхні заготовки, який необхідно зрізати для отримання обробленої поверхні деталі. Припуски розділяються на операційні (проміжні) та загальні (сумарні).

Операційний припуск Z_i – це шар металу, який належить зрізати при виконанні даної операції (переходу).

Загальний припуск Z_z – це шар металу, який необхідно зрізати з заготовки на усіх операціях для отримання готової поверхні

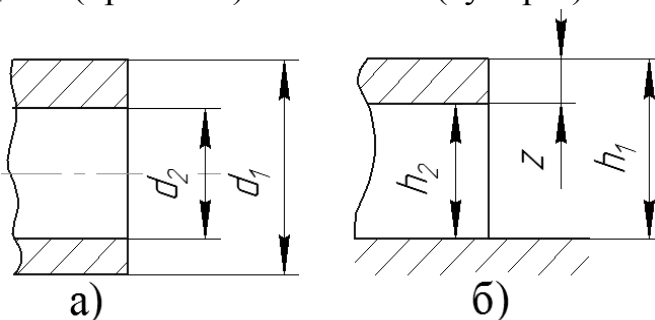


Рис. 2.21. Розміщення припуску на поверхні деталі обертання (а) і на плоскій поверхні (б)

$$Z_3 = \sum_{i=1}^k Z_i$$

де k – кількість операцій (переходів).

Припуски звичайно заміряють по нормалі до обробленої поверхні. Для плоскої поверхні припуск задається в мм на сторону. При обробці поверхонь обертання, паралельних та симетричних поверхонь, припуск задається на діаметр або на дві сторони (рис. 2.21).

При точінні – припуск задається на діаметр $z = d_1 - d_2$, а при фрезеруванні – на сторону $z = h_1 - h_2$.

Як розміщуються припуски на заготовці? Розглянемо охоплювану поверхню (вал), техпроцес обробки якої складається з трьох операцій: чорнової, чистової і викінчуючої (рис. 2.22). Нехай $D_{\text{чорн}}$, $D_{\text{чист}}$ і $D_{\text{вик}}$ – відповідно діаметри після чорнової, чистової і викінчуючої обробки.

Проте, ні заготовку, ні проміжні розміри ідеально точно виконати неможливо, тому необхідно ще передбачити допуски на розміри.

На поверхні литих заготовок допуск задають симетрично в “+” та “-” відносно номінального розміру, а на поверхні штампованих заготовок – асиметрично, щоб підвищити стійкість штампів.

Проміжні допуски після механічної обробки завжди направлені в тіло деталі (тобто в “-” для вала).

Так як проміжний розмір заготовки може коливатися, то вводиться поняття “допуск на припуск”. Допуск на припуск дорівнює величині допуску на розмір поверхні заготовки (деталі), отримуваний після зрізування даного припуску.

На схемі, показаної на рис. 2.22, допуски на припуск заштриховані горизонтальними лініями. Розрахунок та вибір режимів різання виконують за максимальним припуском. Як правило:

$$\delta_{\text{заг}} > \delta_{\text{чорн}} > \delta_{\text{чист}} > \delta_{\text{зав(дет)}}, \text{ а } Z_{\text{чорн}} > Z_{\text{чист}} > Z_{\text{зав}},$$

При визначенні максимального припуску необхідно враховувати, що застосовують два методи досягнення необхідної точності обробки.

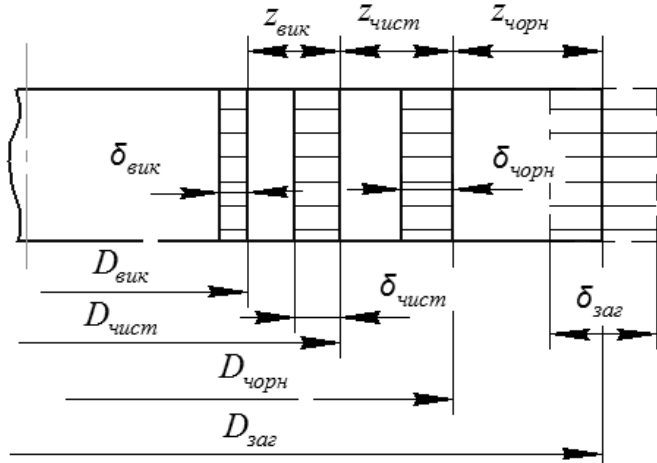


Рис. 2.22. Схема розміщення припусків і допусків при багаторазовій обробці зовнішньої поверхні обертання

В ОВ та МСВ застосовують метод зрізування пробних стружок, тобто, коли послідовно наближаються до заданого розміру обробки. При цьому, виходячи з теорії ймовірності, для поверхні вала

$$Z_{i\max} = D_{i-1\max} - D_{i\min},$$

$$Z_{i\min} = D_{i-1\min} - D_{i\max},$$

де $D_{i-1\max}$ – максимальний діаметр на попередньому переході (вихідний); $D_{i\min}$ – мінімальний діаметр після виконання переходу (отриманий); аналогічно $D_{i-1\min}$ і $D_{i\max}$.

В ССВ та МВ застосовують метод автоматичного забезпечення заданої точності обробки на попередньо налагоджених верстатах, тобто, коли вихідне положення вершини різця при обробці різних заготовок завжди однакове. Якщо оброблюється заготовка з мінімальним діаметром у межах допуску, то виникають менші сили різання і внаслідок пружних деформацій системи верстат-пристрій-інструмент-деталь (ВПІД) різець менше відтискається від заготовки і навпаки (рис.2.23). Тому в цьому випадку

$$Z_{i\max} = D_{i-1\max} - D_{i\max},$$

$$Z_{i\min} = D_{i-1\min} - D_{i\min}.$$

Аналогічну схему можна побудувати для охоплюючої поверхні (отвору).

Яким же повинен бути припуск на обробку?

З одного боку припуск повинен бути мінімальним, щоб зменшити розхід металу, роботи і інструмента при обробці різанням. З другого боку припуск повинен бути достатнім, щоб отримати якісну поверхню без "чорноти" та інших дефектів.

Як визначити величину припуску на обробку? Найточніше величину припуску можна визначити розрахунково-аналітичним методом, розробленим професорами А.П. Соколовським і В.М. Кованом.

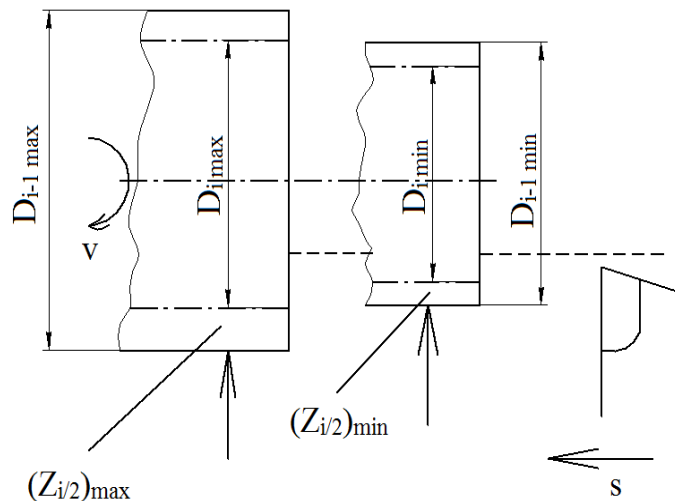


Рис. 2.23. Схема для визначення припусків при обробці на попередньо налагоджених верстатах

2.4.2. Розрахунково-аналітичний метод визначення припуску

Нехай ми маємо заготовку вала, яку необхідно обробити (рис. 2. 24). Для отримання якісної поверхні і нормального протікання процесу різання припуск на операцію (перехід) визначають за формулою

$$Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + H_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) ,$$

У цій формулі прийняті наступні позначення:

$R_{Z_{i-1}}$ – висота мікронерівностей на поверхні заготовки, отриманій на попередній операції. Її визначають за таблицями.

H_{i-1} – товщина дефектного шару, отриманого на попередній операції. Вона визначається за таблицями і може включати товщину ливарної кірки, шар окалини, наклепаний або пошкоджений мікротріщинами шар тощо.

Δ_{i-1} – товщина шару металу для компенсації просторових відхилень, отриманих на попередній операції. Вони враховують зміщення оброблюваної поверхні відносно базової і можуть включати: викривлення та жолоблення заготовок, зміщення верхньої і нижньої порожнин штампів відносно одна іншої при штампуванні, зміщення опок при литті, зміщення при литті стержня відносно базової поверхні, зміщення центрів відносно геометричної осі вала, викривлення та зміщення свердла тощо. Визначення просторових відхилень найбільш складне і це питання необхідно вирішувати окремо для кожного конкретного випадку обробки.

Наприклад, для розглядуваного вала просторові відхилення включають векторну суму зміщення центрів $\Delta_{\psi i-1}$ і стрілу викривлення вала Δ'_{i-1} на попередній операції, тобто $\overline{\Delta}_{i-1} = \overline{\Delta}_{\psi i-1} + \overline{\Delta}'_{i-1}$. Якщо трудно визначити напрями цих векторів, то вважають, що вони направлені під кутом 90° один до іншого, тобто $\Delta_{i-1} = \sqrt{\Delta_{\psi i-1}^2 + \Delta'^2_{i-1}}$.

ε_i – похибки установки на даній операції, що включають похибки базування і похибки закріплення, тобто $\overline{\varepsilon}_i = \overline{\varepsilon}_{\delta i} + \overline{\varepsilon}_{\delta i}$.

При суміщенні виміральної бази з технологічною похибка базування дорівнює нулеві. Наприклад (рис. 2. 25), якщо при фрезеруванні необхідно витримати розмір А, то похибка базування $\varepsilon_{\delta i} = 0$, якщо потрібно видержати розмір В при такій установці, то похибка базування $\varepsilon_{\delta i} = \Delta$, тому що положення виміральної бази може змінюватися в межах Δ .

Похибка закріплення ε_{zi} враховує зміщення і деформацію заготовки під дією сил затискання і її визначають за довідниками.

При обробці валів у центрах $\varepsilon_i = 0$.

У максимальну величину припуску на обробку обов'язково необхідно включати допуск δ_{i-1} на розмір поверхні, отриманої в результаті попередньої обробки. Очевидно, що величина припуску повинна бути явно більшою від допуску на попередню обробку, тобто

$$Z_{i\max} \geq Z_{i\min} + \delta_{i-1}.$$

Сумуючи операційні припуски можна визначити загальний (сумарний) припуск на обробку поверхні. Загальну величину припуску для литих заготовок можна також визначити за ГОСТ 26645-85, а для штампованих – за ГОСТ 7505-89.

Якщо невідомий маршрут обробки, то приблизні значення припусків можна визначати за таблицею 2.1.

Припуск на обробку заготовок, отриманих у закритих штампах, приблизно на 30-50 % більший ніж для заготовок з прокату.

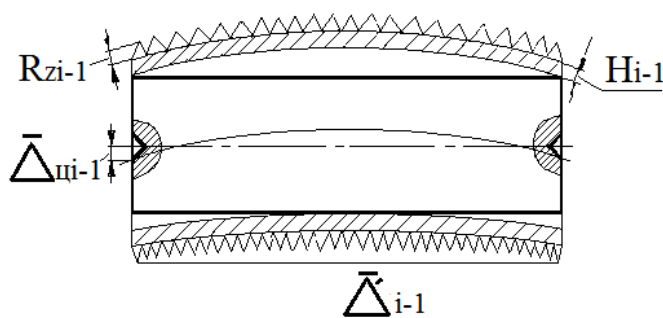


Рис. 2.24. Схема вала до розрахунково-аналітичного методу визначення припуску

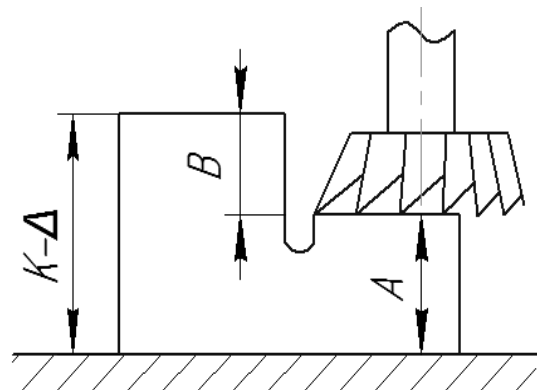


Рис. 2.25. Схема до визначення похибок базування

Таблиця 2.1

Значення припусків на обробку заготовок

Для заготовок, литих у піщано-глинисті форми:				
розмір литої заготовки, мм	до 100	100–200	200–300	300–500
припуск на сторону, мм	3–5	4–6	5–7	6–8
Для заготовок з круглого прокату:				
діаметр заготовки, мм	5–20	20–40	40–60	60–100
припуск z_i на діаметр, мм	1–2	1,5–2,5	2–3	2,5–5

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Дайте визначення припусків на механічну обробку.
2. Як вимірюють припуски на деталі?
3. Наведіть схему розміщення припусків.
4. Як забезпечують точність за рахунок припусків зняттям пробних стружок при обробці на попередньо налаштованому верстаті?
5. Що включає в себе товщина дефектного шару?
6. Як визначити величину максимального припуску?
7. Як визначають величину припуску розрахунково-аналітичним методом?

2.5. Базування заготовок на металорізальних верстатах

2.5.1. Способи установки заготовок при обробці на верстатах

Базування виробу – це надання йому необхідного положення відносно вибраної системи координат.

Базування заготовки при обробці залежить від способу її установки на верстаті. Застосовують три способи установки заготовок.

Установка заготовок з вивірянням безпосередньо на верстаті.

Це найстаріший і недосконалий спосіб. Застосовується в ОВ та МСВ, а також при обробці великих заготовок. Наприклад, як при установці в патроні з роздільним приводом кулачків (рис. 2.26). Попередньо закріпивши заготовку і обертаючи патрон, токарь за допомогою крейди, рисуwalkи, індикаторної головки перевіряє биття заготовки і, відпускаючи один кулачок та підтискаючи інший, добивається необхідної точності установки. Його достоїнства: простота і можливість досить точно виставити заготовку, в залежності від навиків і терпіння верстатника; наявність зворотного зв'язку, що зменшує вірогідність грубих помилок при установці. Недоліки: великі затрати часу на установку, висока кваліфікація верстатників.

Установка заготовок на верстатах «за розміткою».

Нехай треба зняти зайвий заштрихований метал (рис. 2.27). Для цього на заготовці за розміткою або шаблоном наносять і накернують лінію поділу. За цією лінією за допомогою підставок, клинів тощо виставляють заготовку на столі верстата, закріплюють і обробляють. Його достоїнства: простота, можна обробити складний контур. Недоліки: висока вартість операції розмічування і висока кваліфікація розмітчиків; великі витрати часу на вивіряння і установлення заготовки «за розміткою»; низька точність обробки (0,3–0,5 мм). Застосовують в ОВ та МСВ, рідше в ССВ при обробці складних корпусних деталей.

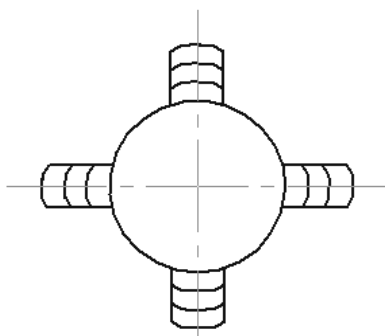


Рис. 2.26. Закріплення заготовки в чотирьохкулачковому патроні

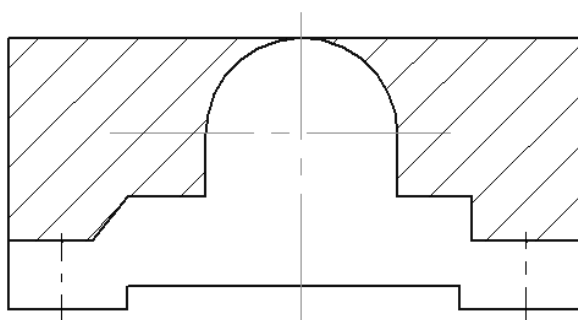


Рис. 2.27. Розмітка заготовки під механічну обробку

Установка заготовок у пристроях.

Пристроєм називається додаткове устаткування до верстата, що забезпечує швидку та точну установку і базування заготовки та надійне її закріплення.

Пристрої розділяються на універсальні, спеціалізовані і спеціальні і складаються з таких елементів:

- установочних, призначених для установки на них заготовки в заданому положенні (опори, пластини, призми, пальці тощо);
- затискних – для міцного і надійного закріплення заготовки (гвинти, клини, ексцентрики, важелі, тяги тощо);
- елементів приводу (пнеumo- і гідроциліндри, пневмокамери, електро-механічний, магнітний, пружинний тощо);
- направляючих – для направлення інструмента в процесі обробки (кондукторні втулки для свердл і зенкерів, уловлювачі тощо);
- установів, що призначені для виставляння інструмента на заданий розмір обробки (переважно на фрезерних верстатах, кутові і висотні установи);
- орієнтуючих – для правильної установки пристрою на столі верстата (шпонки або пальці на опорній поверхні пристрою, центруючі пальці в поворотних кондукторах);
- ділильні – для повороту і фіксації частини пристрою разом з заготовкою на заданий кут (ділильні диски);
- корпусні деталі, що з'єднують усі інші елементи в одне ціле.

Достоїнства обробки в пристроях: дуже велика економія часу, висока точність обробки, низька кваліфікація робочої сили. Недоліки: висока вартість пристроїв і їх точність, що в 5–10 разів вища від точності оброблюваних деталей; відсутність зворотного зв'язку при установці заготовки. Тому пристрої застосовують в ССВ, ВСВ і МВ.

2.5.2. Класифікація баз

При установці заготовок для обробки на верстатах на них розрізняють такі поверхні:

- *оброблювані поверхні* – з котрих зрізається шар металу;
- *технологічні бази*;
- *поверхні, що сприймають затискні зусилля*;
- *необроблювані поверхні*, що залишаються на деталі у такому ж вигляді, в якому вони були на заготовці.

При конструюванні і виготовленні машин велике значення мають бази.

Бази – це поверхні, лінії, точки, які визначають положення виробу відносно вибраної системи координат. Розрізняють бази конструкторські, вимірювальні і технологічні.

Конструкторські бази – це бази, які використовуються для визначення положення деталі або складальної одиниці у виробі. Вони можуть бути реальними (матеріальна поверхня) або геометричними (лінія, точка).

Вимірювальні бази – це бази, що використовуються для визначення відносного положення деталі і засобів вимірювання (у них упираються стрілки розмірів).

Технологічні бази – це бази (поверхні, лінії, точки), що визначають положення заготовки при її обробці на верстаті (ними вона контактує з пристроєм або столом верстата). Вони можуть співпадати з іншими базами. Технологічні бази в свою чергу діляться на чотири види.

Чорнові технологічні бази (первинні) – це необроблені поверхні, які звичайно застосовуються для установки заготовок на перших операціях, на яких, як правило, оброблюють чистові баз.

Чистові технологічні бази (загальні) – це оброблені, як правило точні поверхні, які застосовуються для базування заготовок на наступних операціях.

Допоміжні технологічні бази – це оброблені поверхні, які не є необхідними за конструктивним призначенням деталі, але спеціально утворюються (оброблюються) для поліпшення базування заготовки в процесі обробки. Наприклад, центрові отвори валів, платики важелів тощо.

Додаткові технологічні бази – це частини деталі, які спеціально надаються їй для поліпшення установки (рис. 2.28) при обробці на верстатах. Їх виконують у вигляді приливів, ребер, бобишок тощо.

В даному випадку прилив, виконаний на вигині перехідника дозволяє надійно встановити і закріпити заготовку.

2.5.3. Основні правила вибору технологічних баз

Для правильного вибору технологічних баз необхідно керуватися наступними правилами.

Повинен додержуватись найважливіший *принцип сталості баз* на різних операціях, за виключенням перших, на котрих підготовлюють чистові бази. Усяка зміна баз вносить похибки при обробці.

Доцільно суміщати технологічні та вимірювальні бази (*принцип суміщення баз*), що також підвищує точність обробки, бо при цьому похибка базування дорівнює нулеві.

При обробці двох точних взаємозв'язаних поверхонь, якщо неможливо обробити їх за один установ, то одну з них приймають за базу при обробці іншої і навпаки. Це *принцип взаємозамінності (оборотності) баз*. Наприклад (рис. 2.29), при обробці поверхні 2 за базу приймають поверхню 1, а при обробці поверхні 1 – за базу приймають поверхню 2.

Чорнові бази слід розглядати тільки як вихідні для обробки чистових баз. Повторне базування на чорнові бази, як правило, не допускається.

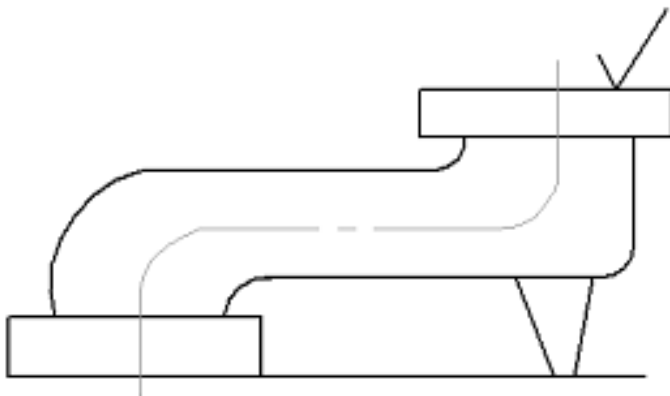


Рис. 2.28. Заготовка з додатковою технологічною базою

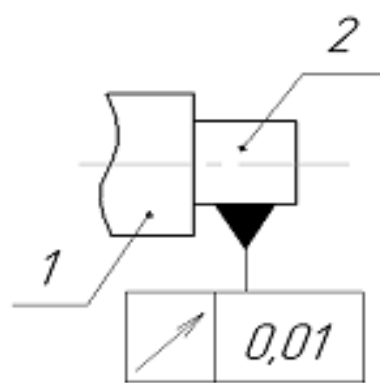


Рис. 2.29. Схема до принципу взаємозамінності баз

Поверхні, що вибираються для чорнових баз, повинні бути гладкими, незміщеними, плоскими або циліндричними, без ливарних або штампувальних уклонів, слідів площин рознімання тощо.

Якщо заготовка оброблюється неповністю, то за чорнові бази необхідно приймати необроблювані поверхні, щоб не отримувати різностінності деталі.

Якщо заготовка оброблюється повністю, то за чорнові бази необхідно приймати поверхні з мінімальним припуском, щоб не залишилась «чорнота» після обробки.

Базові поверхні повинні мати достатні розміри, щоб забезпечувати стійке положення заготовки при обробці.

Вибір баз повинен забезпечувати швидку і зручну установку заготовки і низьку вартість пристрою.

Як же забезпечити вище указані вимоги?

2.5.4. Базування заготовок у пристроях. Правило шести точок



Уявимо трьохмірний простір з трьома осями координат (рис. 2.30). Тіло А, яке ні з чим не зв'язане, має шість ступенів вільності – три переміщення уздовж і три повороти навколо осей.

Положення тіла А відносно осей координат можна вважати визначеним тільки в тому випадку, коли тіло позбавлене усіх без виключення шести ступенів вільності. Тільки в цьому випадку можна говорити про повне базування.

Введемо тіло А в контакт з однією опорною точкою 1. На рисунку видно, що опора 1 не дає можливості тілу А переміщуватися вправо, а вліво воно може переміщуватися, але тоді розірветься контакт з опорною точкою, тобто тіло стане вільним, що проти правил базування. Тобто одна опорна точка накладає на тіло один подвійний зв'язок і позбавляє його одного ступеня вільності. Таким чином, щоб позбавити тіло одного ступеня вільності, необхідно ввести це тіло в контакт з однією опорною точкою в пристрої. У зв'язку з тим, що одна опорна точка накладає на тіло подвійний зв'язок (тобто тіло не може зміщуватись відносно опорної точки ні в одному ні в іншому напрямі), то ніколи на одній прямій не можуть бути установлені дві і більше зустрічні опорні точки.

Для того, щоб позбавити тіло усіх шести ступенів вільності, тобто повністю збазувати, його необхідно ввести в контакт з шістьма опорними точками. Це так зване «правило шести точок». Однак, на практиці не завжди потрібно позбавляти тіло усіх шести ступенів вільності (наприклад, при точінні позбавляють заготовку 5-ти ступенів вільності, а обертання навколо осі залишається незалежним).

Як же розмістити ці шість опорних точок, щоб їх було достатньо при базуванні різних заготовок ?

Базування паралелепіпеда (рис. 2.31). Найбільшою площиною він базується на три опорні точки. Умовні позначення опорної точки:  – вид збоку,  – вид зверху. Точка 1 позбавляє тіло можливості переміщуватися уздовж осі Z, точка 3 – обертання навколо осі Y, точка 2 дає можливість обертання навколо осі X. База XOY, що несе три опорні точки і позбавляє заготовку трьох ступенів вільності (переміщення уздовж однієї і обертання навколо двох інших осей), називається установочною базою.

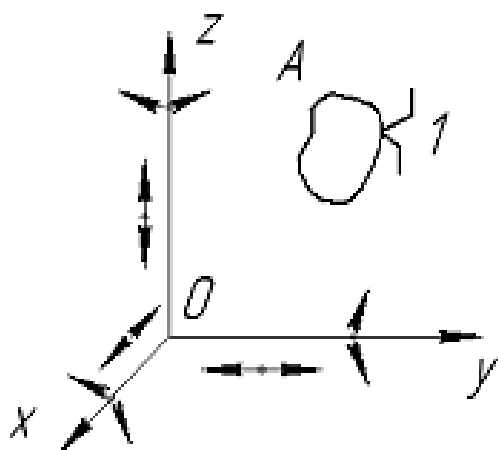


Рис. 2.30. Одна жорстка точка 1 позбавляє тіло А одного ступеня вільності

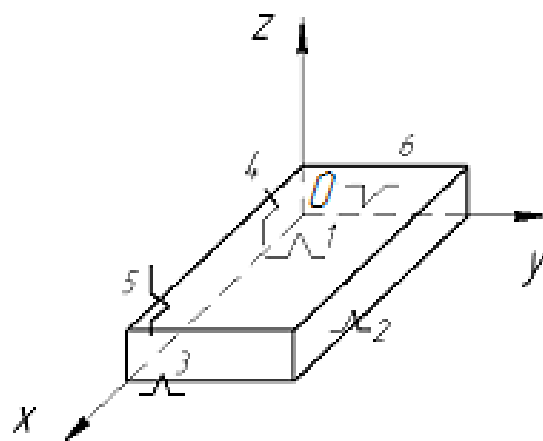


Рис. 2.31. Базування паралелепіпеда

На вузькій довгій поверхні передбачають дві опорні точки. Точка 4 позбавляє тіло можливості переміщуватися уздовж осі Y , а 5 – обертатися навколо осі Z . База ZOX , що несе дві опорні точки, які позбавляють заготовку двох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї осі і обертання навколо іншої), називається направляючою базою.

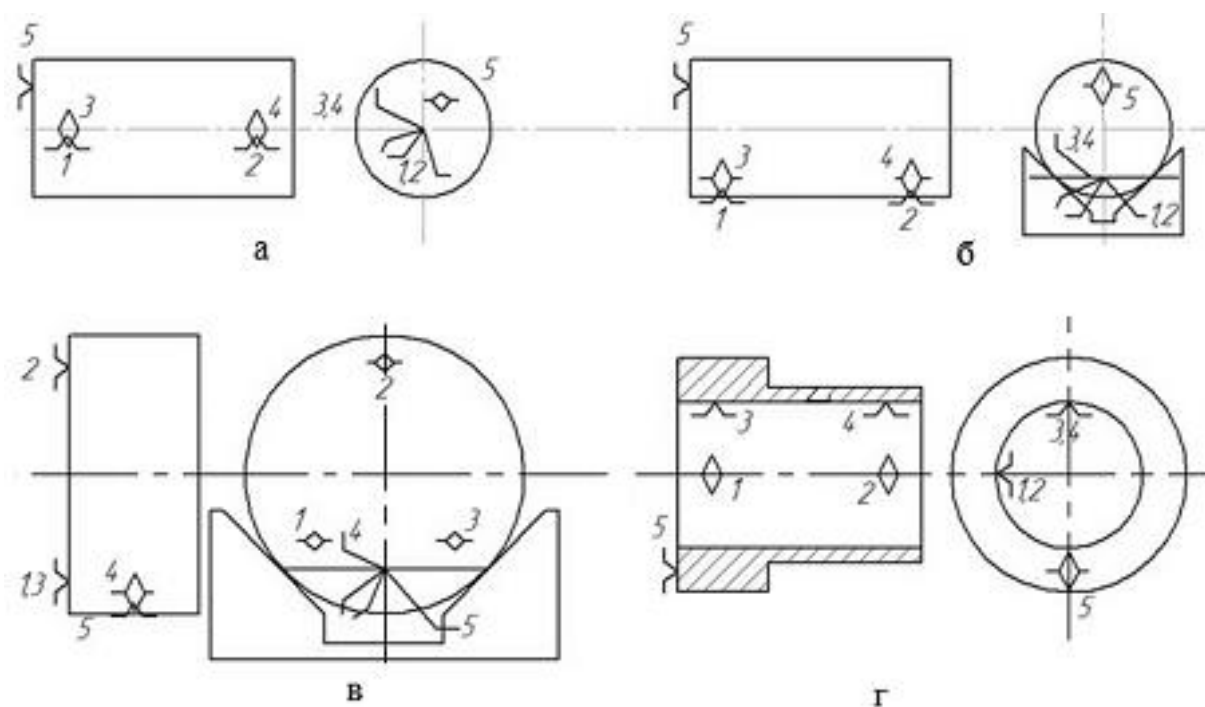


Рис. 2.32. Основні схеми базування різних заготовок за довгою циліндричною поверхнею при її установці в трьохкулачковому самоцентруючому патроні (а), в призмі (б, в) та на оправці (г)

На найменшій поверхні передбачають одну опорну точку 6. База *ZOY*, що несе одну опорну точку і позбавляє заготовку або виріб одного ступеня вільності (переміщення вздовж однієї осі, або обертання навколо однієї осі), називається опорною базою.

Більшість корпусів – це типові паралелепіпеди, хоч можуть мати різну форму. Схеми базування різних заготовок при обробці на металорізальних верстатах (МРВ) залежать від їх форми та співвідношення розмірів поверхонь, від оброблюваних поверхонь, від конструкції верстата тощо.

На рис. 2.32,а показано *базування заготовки за довгою циліндричною поверхнею* при її консольному закріпленні в трьохкулачковому самоцентруючому патроні з довгими опорними поверхнями кулачків, яке позбавляє заготовку 4-х ступенів вільності. Крім того, на торці передбачена додаткова точкова опора 5. У заготовки залишився 6-ий ступінь вільності – обертання навколо поздовжньої осі.

На рис. 2.32,б показана *схема базування заготовки за довгою циліндричною поверхнею* при її установці в призмі (наприклад, для свердління поперечного отвору, фрезерування шпонкового паза). Довга призма позбавляє заготовку 4-х ступенів вільності. На торці передбачена окрема 5-та точкова опора.

На рис. 2.32,в наведена *схема базування диска в короткій призмі*, яка позбавляє заготовку 2-х ступенів вільності. Для надійного базування на торці передбачено додатково три опорні точки (наприклад, як на площині).

На рис. 2.32,г показана *схема базування втулки за довгою внутрішньою поверхнею обертання (отвором)* при її установці на гладкій оправці з зазором, що позбавляє заготовку 4-х ступенів вільності. На торці передбачена додаткова точкова опора 5.

Схема на рис. 2.33,д відображає *базування при установці короткої втулки-диска* на гладкій циліндричній оправці з зазором і трьома точковими опорами на торці.

На рис. 2.33,е наведена *схема базування за довгою конічною поверхнею*, яке позбавляє деталь 5-ти ступенів вільності. Воно відрізняється високою точністю і надійністю, тому його застосовують для базування різальних інструментів (свердл, зенкерів, борштанг тощо) з конічними хвостовиками.

На рис. 2.33,ж показана *схема базування при установці вала в передньому нерухомому центрі (тобто за короткою конічною поверхнею)*, який позбавляє заготовку 3-х ступенів вільності, та задньому підводному центрі, який додатково позбавляє заготовку ще 2-х ступенів вільності (один ступінь вільності в напрямі підводу центра не реалізується).

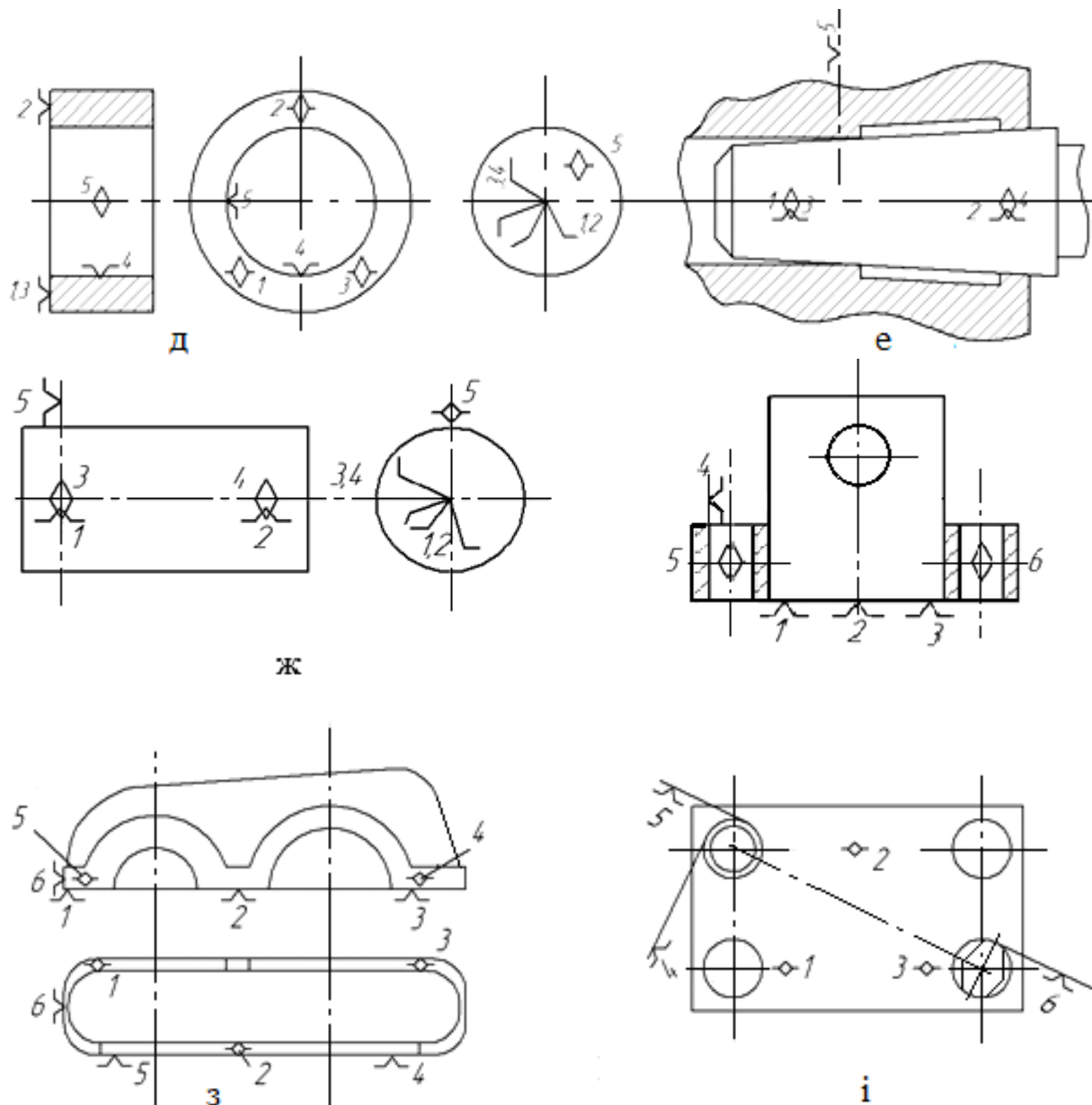


Рис. 2.33. Схеми базування різних заготовок при установці короткої втулки-диска (д), за довгою конічною поверхнею (е), установці вала (ж), та корпусних деталей (з, і)

Схема на рис. 2.33,з показує базування заготовки корпусної деталі по трьох зовнішніх поверхнях (аналогічно з базуванням паралелепіпеда), які можуть бути обробленими або необробленими.

На рис. 2.33,і показана схема базування заготовки корпусної деталі за площиною основи і двома точними отворами (при установці на циліндричний і зрізаний палець). Таке базування позбавляє заготовку усіх 6-ти ступенів вільності, відрізняється високою точністю і широко застосовується при обробці корпусних деталей.

Базування різних заготовок при обробці на МРВ можна звести до розглянутих схем базування або їх комбінацій.

Необхідно мати на увазі, що зайві опорні точки недопустимі, тому що вони порушують визначеність базування.

Для того, щоб почати оброблювати збазовану заготовку, необхідно її закріпити, тобто виконати силове замикання системи.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Дайте визначення базування заготовок на металорізальних верстатах.
2. Назвіть способи установки заготовок при обробці на верстатах.
3. Які види баз використовують при виготовленні деталей?
4. Назвіть основні правила вибору технологічних баз.
5. Як базують заготовки в пристосуваннях за правилом шести точок?
6. Схеми базування типових заготовок різних класів (циліндричних, втулок, дисків, важелів, корпусів).

2.6. Точність обробки на металорізальних верстатах

2.6.1. Види похибок деталей

Точність обробки є найважливішим показником якості деталей машин, а її підвищення – першочерговим завданням машинобудування.

Точність деталі залежить від багатьох факторів і визначається:

- використання верстатів з ЧПК;
- *відхиленнями дійсних розмірів деталі від номінальних*, тобто точністю розмірів;
- *відхиленнями форми поверхонь деталі від правильної геометричної форми*, тобто точністю форми (неплощинність, непрямолінійність, некруглість, нециліндричність);
- *відхиленнями поверхонь і осей деталі від точного взаємного розміщення* (непаралельність, неперпендикулярність, неспіввісність, радіальне і торцеве биття), тобто точністю взаємного положення.

Яку деталь можна назвати точною?

Точною називають деталь, у якої відхилення розмірів, форми і взаємного положення не виходять за межі допусків. Наприклад, при фрезеруванні в розмір A_{δ} (рис. 2.34) деталь точна, якщо фактичний розмір $A_{\delta} \leq A_{\phi} \leq A$. Якщо похибки форми спеціально не обумовлюються, то вони повинні знаходитися в межах допуску на розмір поверхні.

Похибки обробки можна розділити на випадкові та систематичні.

Випадкові – це похибки, величина яких при обробці кожної нової заготовки може приймати будь-яке числове значення (в певних межах) наперед нам невідоме. Їх поява обумовлена дією випадкових факторів, які практично не піддаються контролю. Наприклад, коливання припуску на обробку в межах допуску, коливання твердості заготовки, утворення та зривання наросту тощо.

Систематичні похибки, в свою чергу, розділяються на постійні і такі, що закономірно змінюються – функціональні.

Постійні похибки – це похибки, що зберігають своє значення при обробці кожної нової заготовки в партії. Наприклад, похибки, що викликані неточністю верстата, пристрою, вимірювального інструмента тощо.

Функціональні – це похибки, величина котрих закономірно змінюється при обробці кожної нової заготовки в партії. Наприклад, похибки, що викликані зносом інструмента, тепловими деформаціями системи ВПД у перехідному періоді роботи тощо.

Застосовують два методи дослідження точності обробки: розрахунково-аналітичний і дослідно-статистичний.

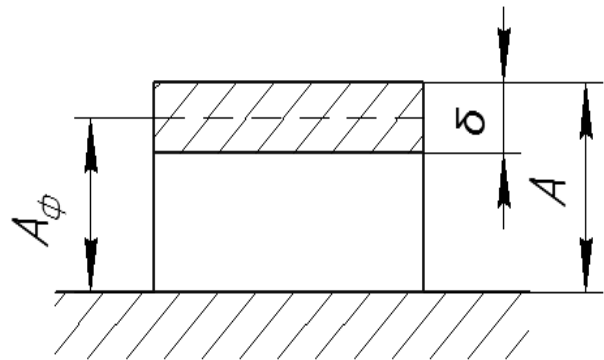


Рис 2.34. Розташування фактичного розміру A_ϕ виробу відносно поля допуску

2.6.2. Розрахунково-аналітичний метод дослідження точності

Суть цього методу в тому, що ми спочатку досліджуємо вплив різних факторів на точність обробки, а після, свідомо керуючи цими факторами, підвищуємо точність. Цим методом можна досліджувати тільки систематичні похибки. Систематичні похибки можна також розділити на похибки, що не залежать від навантаження на верстат (тобто від його роботи) і що залежать від нього.

До похибок, що не залежать від навантаження, відносять наступні похибки.

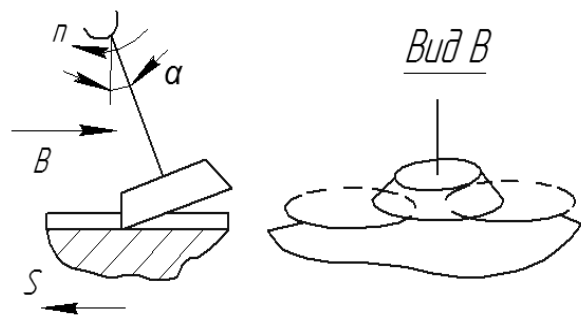


Рис. 2.35. Утворення методичних похибок при нахилі осі шліфувального круга

Похибки методичного характеру – це похибки, які наперед закладені в кінематичній схемі верстата або схемі обробки. Наприклад, це приблизний підбір зубчастих коліс у коробках подач при нарізуванні різьб (зубів) на верстатах, що викликає похибку кроку різьби (зуба). При шліфуванні площини чашковим кругом для поліпшення умов різання і виключення припалів, його вісь нахиляють (рис. 2.35) під кутом α , що приводить до утворення явно неточної, хвилеподібної поверхні. Методичні похибки можна розрахувати і звести до мінімуму.

Похибки верстатів – це наслідок їх неточного виготовлення. Наприклад, неспіввісність осей передньої і задньої бабок токарного верстата, непаралельність осі шпинделя до направляючих, биття шпинделя тощо. Верстати різної точності поділяють на наступні п'ять основних класів: Н – нормальної, П – підвищеної, В – високої, А – особливо високої, С – особливо точні, або майстер-верстати. За величиною допустимих відхилень класи точності верстатів утворюють ряд геометричної прогресії зі знаменником 1,6. Тобто, якщо допустиме відхилення для верстату класу Н прийняти за 1, то для верстата класу П вони становитимуть $1/1,6$, класу В – $1/1,6^2$ і т.д.

Геометричні похибки верстатів обумовлені в ГОСТ-ах. Наприклад, биття шпинделів у токарних і фрезерних верстатів не повинно перевищувати 0,01–0,015 мм, непаралельність і непрямолінійність направляючих – не більше 0,02 мм на довжині 1 м. Геометричні неточності верстатів є основним джерелом похибок форми і взаємного положення поверхонь.

Похибки пристроїв в основному зводяться до похибок базування заготовки. Ці похибки найлегше виявити і зменшити. Наприклад, замірявши h і l (рис. 2.36) можна визначити величину непаралельності поверхонь після обробки.

Вплив похибок інструментів на точність обробки зводиться до того, що наскільки більша похибка мірного інструмента (розвертки, протяжки, шпонкової фрези), настільки нижча точність обробки. Вплив цих похибок зменшують правильним підбором розмірів різального інструмента.

До похибок, що залежать від навантаження на верстат, відносяться наступні.

Похибки, що викликані пружними деформаціями технологічної системи верстат-присрій-інструмент-деталь (ВПД). Їх величина може сягати 20–80 % від загальних похибок виготовлення деталі. Ці похибки в основному залежать від величини радіальної складової сили різання P_y і жорсткості системи ВПД (рис. 2.37). Під жорсткістю j розуміють відношення приросту сили P_y до відповідного зміщення леза інструмента

$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}$, Н/мм. Жорсткість верстата наведена в його паспорті, або визначається окремо. Знаючи жорсткість верстата j і силу P_y , неважко визначити зміщення різця Δy . При цьому діаметр обробленої поверхні збільшиться на $2 \Delta y$.

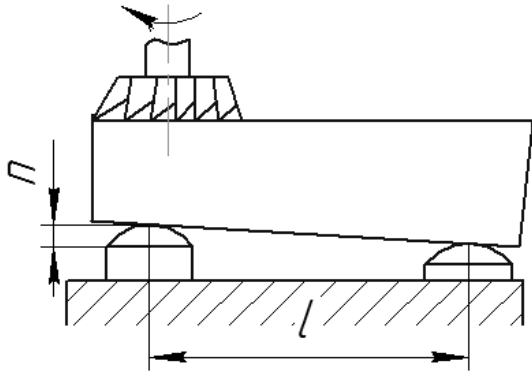


Рис. 2.36. Утворення похибок при неточному пристрої

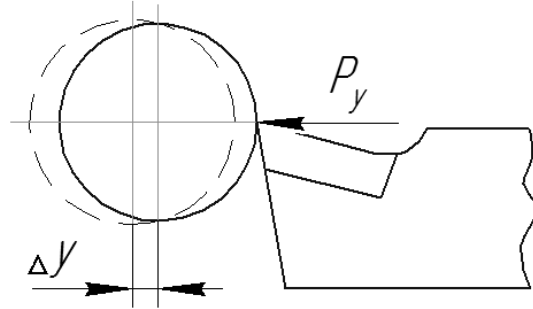


Рис. 2.37. Похибки, які виникають внаслідок пружних деформацій системи ВПД

Похибки, що викликані зносом інструмента (рис. 2.38), - це похибки, які закономірно збільшуються. Для спрощення візьмемо різець з $\gamma = 0^\circ$. При зносі різця по задній поверхні на величину h_3 , різальна кромка різця стане коротша на $\Delta h_3 = h_3 \tan \alpha$.

Знаючи характер кривої зносу різця (рис. 1.21), застосовують заходи для підвищення точності обробки. Наприклад, плавно збільшують глибину різання (за лімбом верстата) пропорційно зносові різця.

При роботі верстата також *виникають теплові похибки*, які важко урахувати, особливо в перехідний період, коли верстат безперервно нагрівається і його температура не стабілізувалась. Тому, при виконанні точних робіт, верстатники часто «прогрівають» верстат до початку роботи на холостих обертах.

При чорновій обробці деталі, внаслідок перерозподілу внутрішніх напруг, *може бути жолоблення*.

Для зменшення цих похибок заготовки перед обробкою піддають штучному або природному старінню.

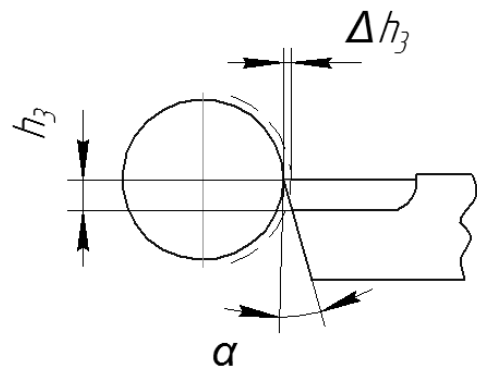


Рис. 2.38. Похибки діаметра при точінні, які викликані зносом різця

Сумуючи окремі похибки знаходять загальні за формулою:

$$\overline{\delta_{\text{заг}}} = \overline{\delta_1} + \overline{\delta_2} + \dots + \overline{\delta_n},$$

або
$$\delta_{\text{заг}} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}.$$

Розрахунково-аналітичний метод дозволяє розкрити джерела похибок і проаналізувати ступінь їх впливу на точність обробки, але він придатний тільки для дослідження систематичних похибок.

2.6.3. Дослідно-статистичний метод дослідження точності обробки

Цей метод застосовують для дослідження впливу випадкових похибок на точність обробки, а також для визначення систематичних похибок при різних способах обробки.

Значення випадкових похибок, величина яких змінюється при обробці кожної заготовки, аналітично визначити неможливо. Наприклад, похибки, що викликані коливанням припуску на обробку, зривом наросту, коливанням твердості заготовки тощо. Ці похибки викликають розсіювання розмірів деталей в партії, тобто розміри деталі є випадковими величинами.

Щоб охарактеризувати будь-яку випадкову величину (в нашому випадку це похибка обробки), необхідно не тільки показати, які значення вона може приймати, але і показати частоту появи кожного з значень, тобто необхідно визначити закон розподілу випадкової величини.

На практиці дослідження партії оброблених деталей виконують у наступному порядку:

1. З досліджуваної партії деталей випадковим способом витягають вибірку (тобто певну кількість) з N деталей і заміряють їх розміри: x_1, x_2, \dots, x_N . У технології машинобудування обсяг вибірки $N \geq 70-100$ деталей.

2. За результатами N замірів деталей вибірки визначають зону розсіювання розмірів $R = x_{\max} - x_{\min}$ (рис. 2.39).

3. Розділяють зону розсіювання розмірів R на $n = 7-15$ однакових інтервалів і підраховують частоту m_j появи значень випадкової величини в кожному інтервалі. Проте, сама частота ще ні на що не вказує і необхідно

визначити відносну частоту, тобто частість:
$$p_j = \frac{m_j}{N}.$$

4. З середини кожного інтервалу, в певному масштабі, відкладаємо на осі ординат частість p_j появи випадкової величини і, з'єднуючи отримані точки, будуємо експериментальну ламану лінію (полігон) розподілу випадкової величини.

Очевидно, що $\sum_{j=1}^n m_j = N$, або $\sum_{j=1}^n p_j = 1$.

Емпіричний розподіл випадкової величини характеризується середнім значенням \bar{X} і середньо-квадратичним відхиленням S , яке є мірою розсіювання випадкової величини:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n x_j m_j ; \quad S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2 m_j} ,$$

де: x_j – поточне значення середини інтервалу;

m_j – частота появи випадкової величини в інтервалі;

n – кількість інтервалів.

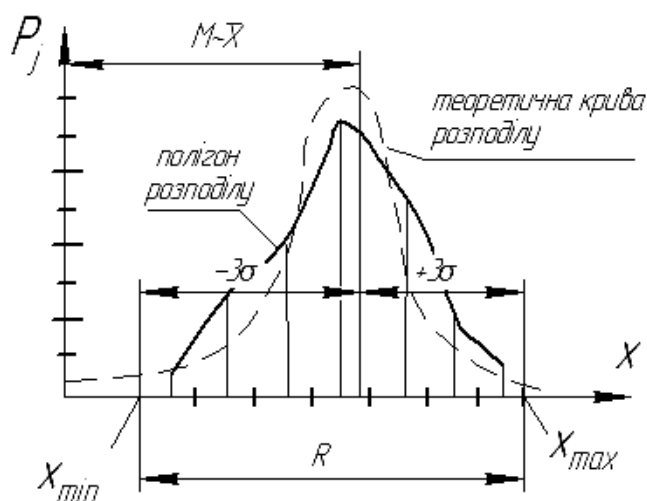


Рис. 2.39. Полігон і теоретична крива розподілу розмірів деталей

Щоб можна було застосувати методи математичної статистики для подальшого дослідження точності, за допомогою критерію погодження Пірсона χ^2 , або критерію Колмогорова λ , визначають, якому теоретичному закону найбільше відповідає отримана експериментальна крива.

В технології машинобудування, при відсутності впливу на випадкову величину домінуючих факторів, найбільше розповсюдження має нормальний закон розподілу, який графічно зображується кривою Гауса

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} ,$$

де $\varphi(x)$ – щільність вірогідності (відповідно до закону великих чисел наша емпірична частість $p_i \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \varphi(x)$;

x – змінна випадкова величина;

e – основа натурального логарифму $e = 2,718...$

Визначивши значення \bar{X} і S емпіричної ламаної кривої, і, застосовуючи методи математичної статистики, можна «вирівняти» її і побудувати відповідну теоретичну криву Гауса (рис. 2.39). Крива Гауса симетрична відносно вертикальної осі, а її гілки асимптотично наближаються до осі абсцис.

$M(\bar{X} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} M)$ – математичне очікування, що характеризує положення вершини кривої на осі абсцис, а $\sigma(S \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \sigma)$ – її форму.

Чим менше σ , тим вузча крива.

Можна показати, що якщо проінтегрувати рівняння щільності вірогідності $\varphi(x)$ в межах від « $-\infty$ » до « $+\infty$ », то функція дорівнює 1, а це означає, що в зоні під кривою теоретично розміщуються усі можливі розміри деталей. Проте на практиці розміри деталей не можуть змінюватися від « $-\infty$ » до « $+\infty$ ». Аналогічно можна установити, що в межах вліво на -3σ від $M(\bar{X})$ і вправо на $+3\sigma$ знаходяться 0,9973 усієї площі під кривою, тобто 99,73 % усіх заміряних деталей будуть мати розмір $M \pm 3\sigma$, або, приблизно, $\bar{X} \pm 3S$.

З розглянутого можна зробити висновок, що в технології машинобудування з вірогідністю, близькою до 1, вважають, що поле розсіювання розмірів усієї партії деталей знаходяться в межах $\Delta = \pm 3\sigma$.

Порівнюємо два способи обробки за кривими розподілу отриманих розмірів (рис. 2.40). Можна стверджувати, що стабільність розмірів при другому способі обробки вища, ніж при першому, тому що поле розсіювання менше ($B < A$). Проте, щоб судити про точність виготовлення деталей, необхідно розглянути розміщення поля розсіювання розмірів $\pm 3\sigma$ відносно допуску на розмір деталі. Якщо поле допуску A , то перший спосіб кращий, якщо B – то другий. Звичайно стараються, щоб середина поля допуску співпадала з середнім значенням \bar{X} , тобто з серединою поля

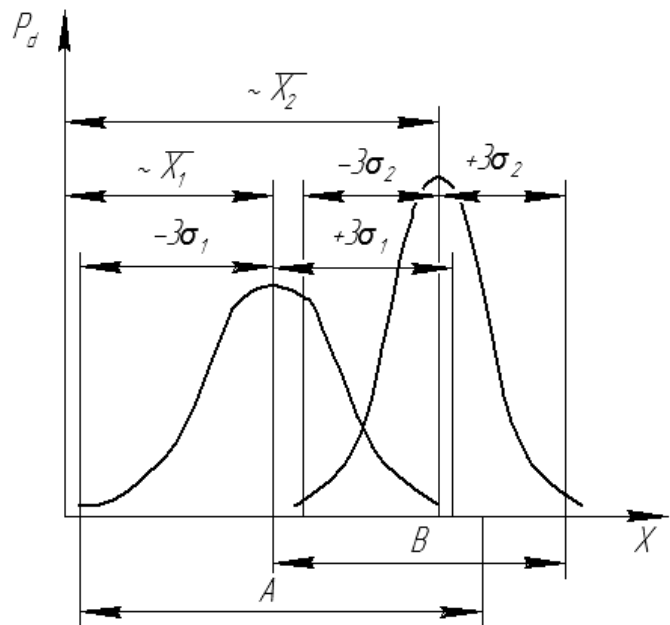


Рис. 2.40. Криві розподілу розмірів поверхонь для двох різних способів обробки

розсіювання розмірів деталі. Іноді, особливо при великій інтенсивності зносу інструмента, середину поля допуску зміщують у ту або іншу сторону.

Систематичну похибку між двома способами обробки визначають як

$$\Delta_c = \overline{X}_2 - \overline{X}_1.$$

Недоліком дослідно-статистичного методу дослідження точності є те, що він не дозволяє виявити джерело похибок і, відповідно, активно впливати на нього. Він тільки дозволяє визначити точність деталей в партії, а також констатувати, який з декількох досліджуваних процесів кращий, а який гірший.

2.6.4. Економічна точність обробки

Що розуміють під економічною точністю обробки? Це така точність і методи її досягнення, що забезпечують найвищу економічність процесу. Застосовують також поняття досяжної точності. Досяжна точність – це та точність, яку можна отримати при особливо сприятливих умовах обробки, не рахуючись з економічними затратами.

З графіка залежності вартості від точності (рис. 2.41) виходить, що зі зменшенням допуску δ на оброблювану поверхню, вартість обробки B збільшується, причому в значній мірі в зоні малих допусків.

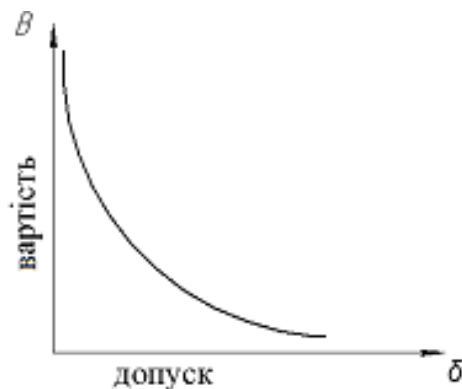


Рис. 2.41. Крива залежності вартості від точності обробки

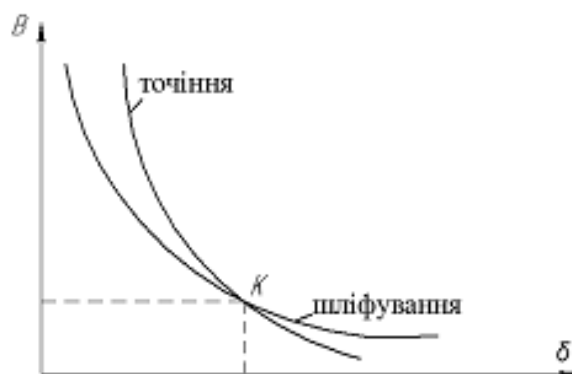


Рис. 2.42. Залежність вартості від точності обробки при точінні та шліфуванні

Одну і ту ж точність можна отримати різними способами обробки. Наприклад, отвори 6–8 квалітету точності можна отримувати розгортанням, тонким розточуванням, протягуванням, шліфуванням тощо. Який же спосіб вибрати для обробки? Якщо з технологічної точки зору процеси аналогічні, то враховують економічні показники. Нехай маємо два

способи обробки: точіння і шліфування, які дозволяють отримати однакову точність обробки (рис. 2.42).

З графіків залежності вартості обробки від допусків виходить, що в зоні великих допусків доцільно застосовувати точіння, в критичній точці K їх ефективність однакова, а в зоні малих допусків краще застосовувати шліфування.

Економічна точність обробки буде розглядатися при вивченні оброблювання на різних металорізальних верстатах.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Від яких факторів залежить точність обробки на МРВ?
2. Дайте визначення точної деталі і назвіть види похибок обробки.
3. Чим відрізняються випадкові похибки обробки від систематичних.
4. У чому полягає суть розрахунково-аналітичного методу дослідження точності і область його застосування?
5. У чому полягає особливість дослідно-статистичного методу дослідження точності, його переваги і недоліки?
6. Що розуміють під економічною точністю обробки?

3. ОБРОБКА НА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

3.1. Класифікація металорізальних верстатів та систем ЧПК

3.1.1. Класифікація металорізальних верстатів

Металорізальні верстати (МРВ) є основним видом обладнання машинобудівних заводів. Парк МРВ України складає біля 800 000 одиниць.

На МРВ виконують обробку за різними схемами (рис. 3.1). У залежності від призначення та виду виконуваних робіт, усі верстати розділяють на 9 груп (рис. 3.2): 1 група – токарні; 2 – свердлильні і розточувальні; 3 – верстати для абразивної обробки; 4 – комбіновані (для електрофізичної і електрохімічної обробки); 5 – зубо- і різьбонарізні; 6 – фрезерні; 7 – стругальні, довбальні та протяжні; 8 – розрізні; 9 – різні верстати, тобто відмінні від попередніх.

Різні моделі верстатів позначаються трьома або чотирма цифрами, з яких перша означає групу верстатів, друга – тип верстата, третя і четверта характеризують один з найважливіших експлуатаційних параметрів.

При модернізації верстата вводять літеру між першою і другою цифрами. Модифікацію базової моделі позначають літерою в кінці шифру.

Верстати (ЧПК) з числовим програмованим керуванням мають в кінці позначення моделі літеру «Ф» з цифрою. Якщо точність верстата відмінна від нормальної, то в позначення верстата вводиться літера (П, В, А, С).

Наприклад: 16K20 означає наступне – 1 – токарна група, 6 – тип, токарно-гвинторізний, 20 – висота центрів – 200 мм, К – модернізований; 2Н135 – 2 – свердлильна група, 1 – тип, вертикально-свердлильний верстат, 35 – максимальний діаметр просвердленого отвору в сталі (35 мм),

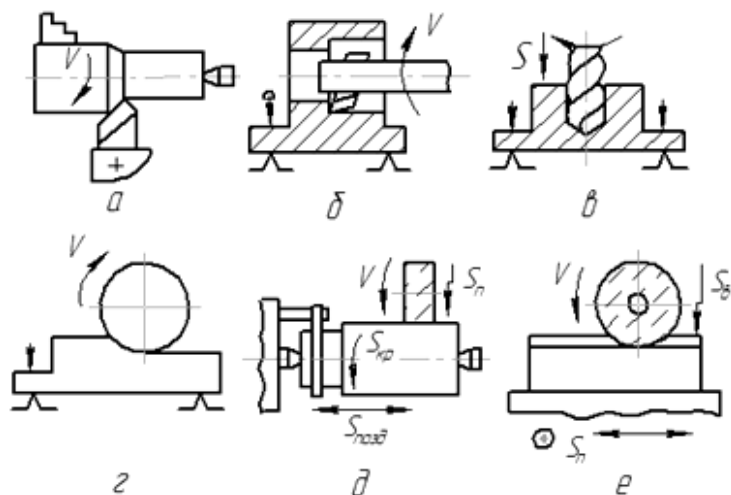


Рис. 3.1 Схеми обробки:

а – точенням; б – розточуванням; в – свердлінням;
г – фрезеруванням; д – шліфуванням на кругло-
шліфувальних верстатах; е – теж саме, на
плоскошліфувальних

Н – модернізований; 6Н82 – 6 – фрезерна група, 8 – тип, горизонтально-фрезерний верстат, 2 – номер стола (320 x 1250 мм), Н – модернізований; 6Н12 – вертикально-фрезерний; 6Н12К – вертикально-фрезерний, копіювальний; 6Н12Ф3 – вертикально-фрезерний з програмованим управлінням.

3.1.2. Верстати з ЧПК

Це верстати, які за наперед заданою програмою на магнітних носіях (дисках, флешках, стрічках, а в старих моделях верстатів на паперових перфострічках і навіть на перфокартах) виконують повну обробку заготовки без втручання верстатника. При цьому автоматично витримуються форма та розміри оброблених поверхонь деталі, перемикаються частота обертання шпинделя і величина подачі робочих органів верстата, вмикається або вимикається подача МОР, міняється різальний інструмент (РІ), коректується початкове положення РІ та еквідистанти. Вони дозволяють автоматизувати МСВ і ССВ.

Верстати з ЧПК широко застосовують в гнучких автоматизованих виробництвах (ГАВ), які забезпечують швидке та просте переналагодження верстатів і усієї програми роботи засобів виробництва у відповідності до зміни вимог виробництва. Така автоматизація протилежна принципів жорсткої автоматизації (наприклад, у вигляді автоматичних ліній, скомпонованих зі звичайних МРВ і транспортних засобів), які призначені тільки для випуску одного або декількох видів продукції і потребують великих затрат часу та фінансів при переході на випуск нової продукції.

Основна складова ГАВ – гнучкий виробничий модуль (ГВМ). Це одиниця технологічного обладнання (наприклад, верстат з ЧПК), яка автоматично виконує технологічні операції і здатна працювати як автономно, так і в складі гнучких автоматизованих систем. У ГВМ можуть входити такі системи ЧПК: адаптивного керування, контролю та вимірювання, діагностики.

Для позначення рівня автоматизації до позначення базових моделей верстатів додають літеру Ф з цифрою: Ф1 – верстати з цифровою індикацією положення робочого органу і попереднім набором координат обробки, Ф2 – верстати з позиційною системою керування (СК), Ф3 – верстати з контурними системами, Ф4 – верстати з універсальними системами керування.

За зміною різального інструмента верстати з ЧПК розділяють на такі види: верстати з ручною заміною РІ і програмуванням тільки формоутворення і швидкості подачі; верстати з автоматичною заміною

інструмента, встановленого в револьверній головці, і програмуванням формоутворення та режиму обробки, а також корекцією розмірів положення РІ (при наявності револьверної головки в позначеннях верстатів вводять літеру «Р», а інструментального магазину - «М», які стоять перед Ф); верстати з автоматичною заміною інструмента типу «оброблюючий центр», з повним програмуванням усього процесу обробки.

3.1.3. Типи систем ЧПК

У залежності від рівня автоматизації верстати з ЧПК можуть оснащуватися однією з трьох основних систем керування.

П – позиційні системи, що призначені для управління переміщенням виконуючих механізмів верстата від точки до точки без завдання певної траєкторії переміщення в свердлильних і розточувальних верстатах.

Н – безперервні або контурні, що призначені для керування усіма траєкторіями переміщення виконуючих механізмів верстата при обробці безперервних профілів, як плоских, так і просторових. Вони застосовуються на токарних і фрезерних верстатах.

У – універсальні або комбіновані, що призначені як для позиційної, так і для контурної обробки.

Позначення систем ЧПК – чотирьохзначне: перша літера означає тип системи керування (СК), яка може бути: П – позиційна, Н – безперервна, або У – універсальна); другий знак – кількість координат, що керуються системою; третій знак – кількість координат, що одночасно керуються системою; четвертий знак – тип приводу подачі (1 – кроковий привід, 2 – слідкуючий або слідкуючи-регульований привід зі зворотним зв'язком).

Блоки систем ЧПК виконані за агрегатним принципом і з них збирають системи ЧПК різної складності. Наприклад, системи Н531, Н532, У521, У522, П522 – базові, найбільш повні модифікації агрегатної (блокової) системи ЧПК, побудовані на інтегральних схемах.

Звичайно в ЧПК застосовують датчики зворотного зв'язку типу «обертовий трансформатор» ВТМ-1М з поділом фази на 200, або «обертовий гвинт» ДЛМ-11 з поділом фази на 100 та інші.

Для запису програм на магнітних носіях застосовують код ISO 7 bit з десятково-двійковою системою числення.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. За якими ознаками здійснюють класифікацію МРС?
2. Як проводять позначення моделей верстатів?
3. Які особливості характерні для металорізальних верстатів з ЧПК?
4. Назвіть основні системи керування верстатами з ЧПК і їх позначення.

Верстати	Груп а	Типи								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарні	1	Автомати і напівавтомати одношпинд- ельні	Багатошпинд- ельні	Револьверні	Свердлильно- відрізні	Карусельні	Токарні і лобові	Багато- різцеві	Спеціалізо- вані	Різні токарні
Свердиль- ні і розточу- вальні	2	Вертикально свердильні	Напівавтомати Одношпин- дельні	Багатошпин- дельні	Координатно- розточувальні	Радіально- свердлильні	Розточу- вальні	Алмазно- розточу- вальні	Горизон- тально- свердильні	Різні свердлильні
Шліфу- вальні, доводочні	3	Круглошліфу вальні	Внутрішньошлі- фувальні	Обдирно- шліфувальні	Спеціалізовані шліфувальні	-	Заточу- вальні	Плоско- шліфу- вальні	Притираль- ні і поліру- вальні	Різні верстати, абразивні
Комбінова- ні	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Зубо- і різбо- обробні	5	Зубостругаль- ні для цилінд- ричних коліс	Зуборізні для конічних коліс	Зубофрезерні Для цилінд- ричних коліс і шліфових валів	Для черв'ячних коліс	Для обробки торців зубів коліс	Різбо- фрезерні	Зубооб- робочні	Зубо- і різбошлі- фувальні	Різні зубо- і різбооб- робочні вальні
Фрезерні	6	Вертикально - фрезерні консольні	Фрезерні безперервної дії	-	Копіювальні і гравірувальні	Вертикальні без консольні	Поздовж- ні	Широко- універ- сальні	Горизонталь- ні консольні	Різні фрезерні
Стругальні, довбальні і протяжні	7	з одним стояком	Поздовжні з двома стояками	Поперечно- стругальні	Довбальні	Протяжні горизонта- льні	-	Протяжні вертика- льні	-	Різні стругальні
Розрізні	8	Відрізні, що працюють диском, різцем, кругом	Відрізні, що працюють диском, різцем, кругом	Поперечно- абразивним	Правильно- відрізні	Стрічкові	Дискові пили	Ножівкові	-	-
Різні	9	Муфто- і трубообробні	Пилонасічні	Правильно- і безцентрово- обдирні	-	Для випробо- вування інструментів	Ділильні машини	Балансу- вальні	-	-

Рис. 3.2. Класифікація металорізальних верстатів

3.2. Обробка на верстатах токарної групи

Верстати токарної групи включають 10 типів верстатів (рис. 3.2): 10... – спеціалізовані токарні автомати і напівавтомати; 11... – одношпиндельні токарні автомати і напівавтомати; 12... – багатошпиндельні токарні автомати і напівавтомати; 13... – токарно-револьверні; 14... – токарно-відрізні; 15... – токарно-карусельні; 16... – токарно-гвинторізні та лобові; 17... – токарні багаторізцеві; 18... – спеціалізовані для фасонної обробки; 19... – різні токарні верстати.

3.2.1. Обробка на токарно-гвинторізних верстатах

На верстатах токарної групи головний рух різання (ГРР) - завжди обертання заготовки, тому вони призначені для обробки тіл обертання різної форми. Токарно-гвинторізні верстати мають передню бабку 1 зі шпинделем 2 (рис. 3.3), в якому закріплюють оброблювану заготовку, і задню бабку 5 з піноллю 4, в якій установлюють осьові інструменти (свердла, зенкери тощо), або задній центр. Супорт 6 верстата має поздовжню або поперечну подачу і на ньому можна закріпити до чотирьох різців у поворотному різцетримачі 3. Іноді, при обробці за копіром або на верстатах з ЧПК, супорт може переміщуватися за більш складною траєкторією.

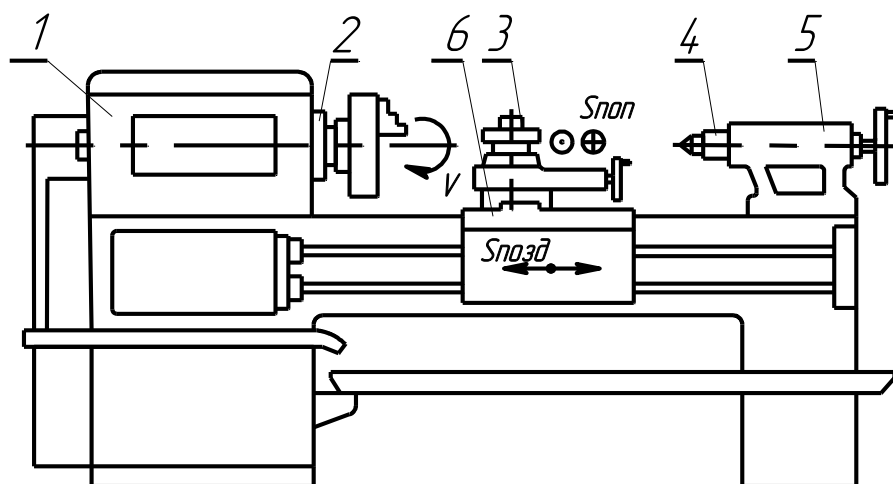


Рис. 3.3 Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстату

У промисловості широко застосовують такі моделі універсальних токарних верстатів: 16K20, 16Б16А, 16K25, 16Л20 та ін.

Токарний патронно-центровий верстат з ЧПК 16K20РФ3 розроблений на базі верстата 16K20. Клас точності верстата – П. На

супорті верстата установлений шестипозиційний автоматичний поворотний різцетримач з горизонтальною віссю обертання. Модифікація верстата 16K20PФ3 в залежності від оснащення системою ЧПК має позначення:

- 16K20PФ3С1 – «Контур 2ПТ-71»;
- 16K20PФ3С4 – «ЭМ-907»;
- 16K20PФ3С5 – «Н22-1М».

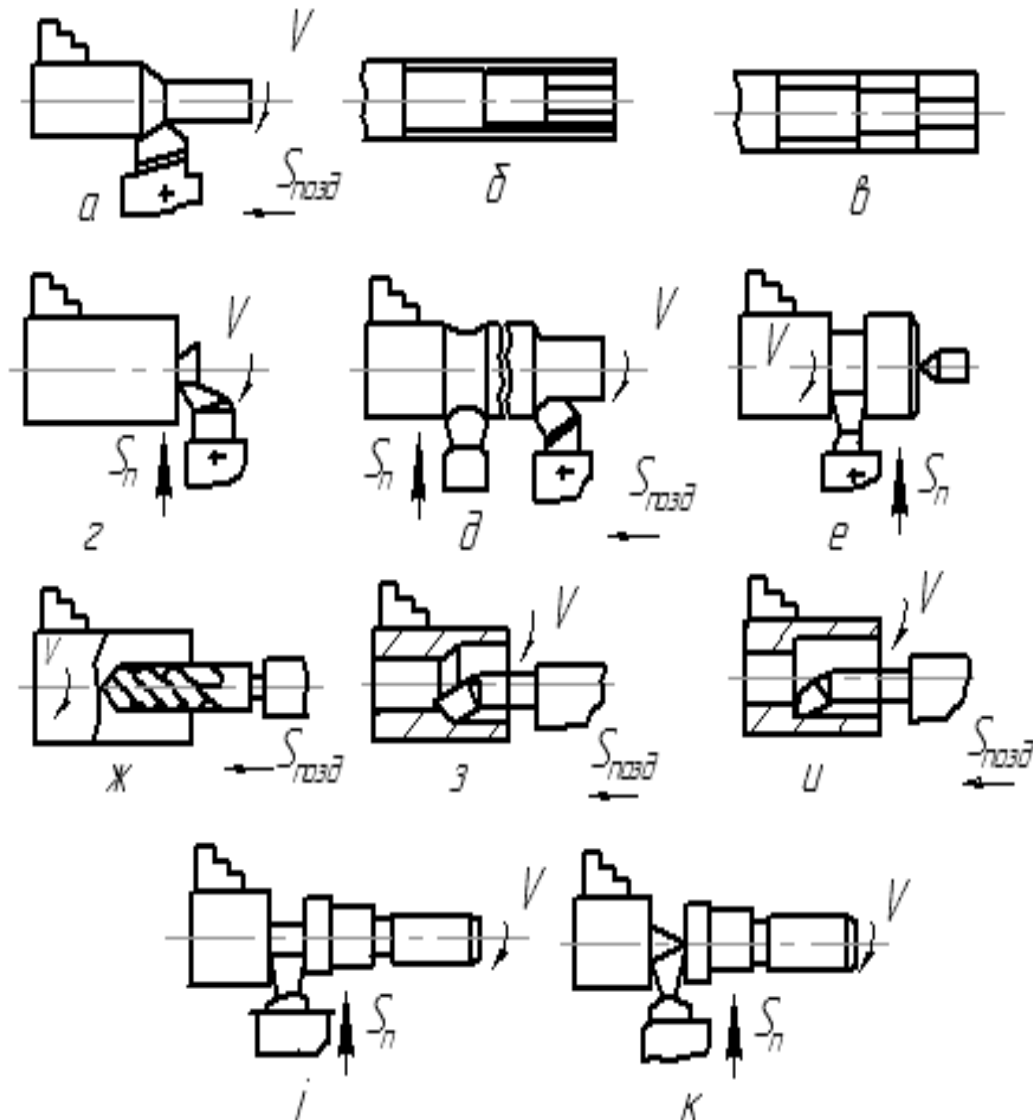


Рис. 3.4. Схеми обробки заготовок на токарно-гвинторізних верстатах

Основні види виконуваних робіт і застосовуваний інструмент показані на рис. 3.4.

Найширше застосовують поздовжнє (а) зовнішнє точіння прохідним різцем з $\varphi = 45^\circ$ при правому (іноді лівому) обертанні шпинделя в напрямі до або від передньої бабки; зовнішнє поздовжнє точіння упорним різцем з $\varphi = 90^\circ$ і одночасним підрізуванням торця уступа (б, в); підрізування торця з поперечною подачею підрізного різця (г); проточування галтелей (д) або канавок (е); обробку отворів свердлінням (ж), або розточування різцями (з, и); відрізування (і, к) заготовок.

Обточування зовнішніх і внутрішніх конічних поверхонь виконують наступними способами (рис. 3.5):

а – обточування недовгих конічних поверхонь довжиною до 50–70 мм широкими різцями з поперечною подачею;

б – обточування недовгих, але точних конічних поверхонь шляхом повороту верхніх полозків супорта на заданий кут;

в – при обробці неточних, але відносно довгих конічних пологих поверхонь з $\alpha \leq 10^\circ$, застосовують точіння з поперечним зміщенням центра задньої бабки на величину h ;

г – обточування пологих конічних поверхонь за копіром на токарно-копіювальних верстатах. Дуже широко застосовують обточування конічних поверхонь на токарних верстатах з ЧПК з одночасним включенням поздовжньої і поперечної подач. Крім того, в МВ і ВСВ застосовують обробку довгих конічних поверхонь на спеціальних верстатах, у котрих передня і задня бабки повертаються на заданий кут відносно направляючих.

Різні типи різців (рис. 3.6) кріплять, як правило, в чотирьохпозиційному різцетримачі супорта. На токарно-гвинторізних верстатах також нарізають різьби різцями, плашками, мітчиками. Крім того, за допомогою осьових інструментів, установлених у пінолю задньої бабки, можна виконувати свердління, зенкерування, розгортання і розточування отворів блоком різців тощо.

Обточування фасонних поверхонь (рис. 3.7) виконують такими способами: а – за допомогою фасонних різців шириною до 50–70 мм, що працюють з невеликою поперечною подачею до 0,05 мм/об (фасонні різці

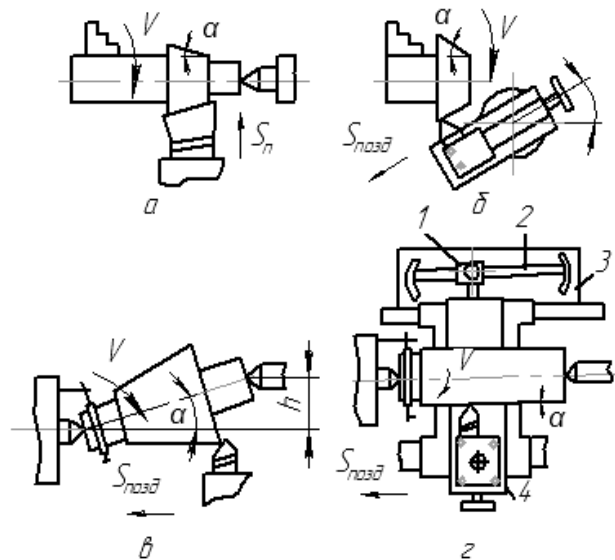


Рис. 3.5 Схеми обточування зовнішніх конічних поверхонь на токарно-гвинторізних верстатах

можуть бути круглими (б), призматичними радіальними (в), або тангенціальними (г)); д – за копіром на токарно-копіювальних верстатах. Крім того, обточування фасонних поверхонь найчастіше виконують на токарних верстатах з ЧПК.

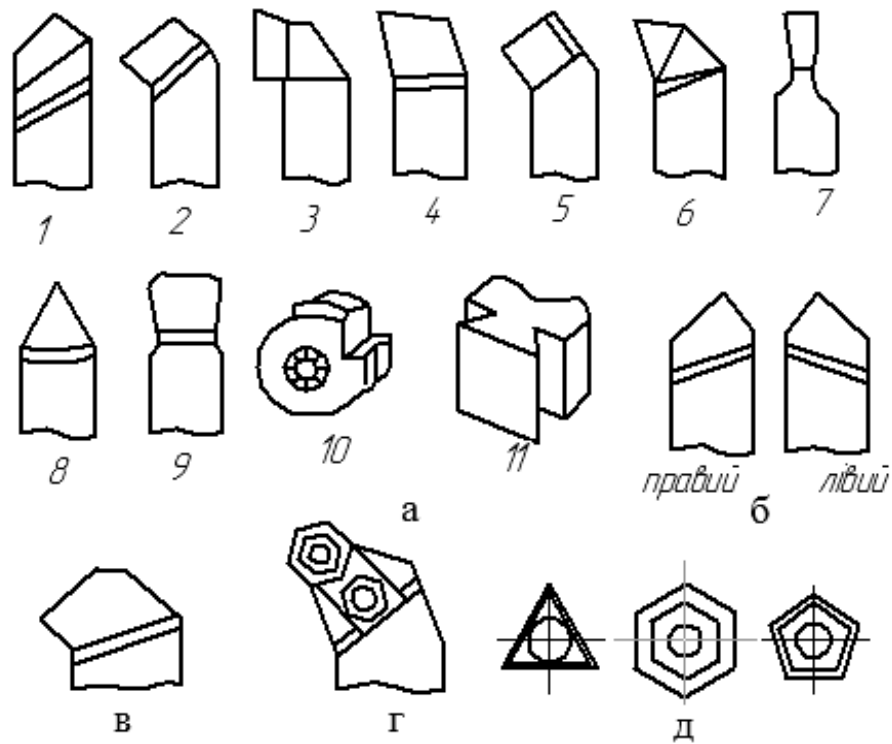


Рис. 3.6. Токарні різці

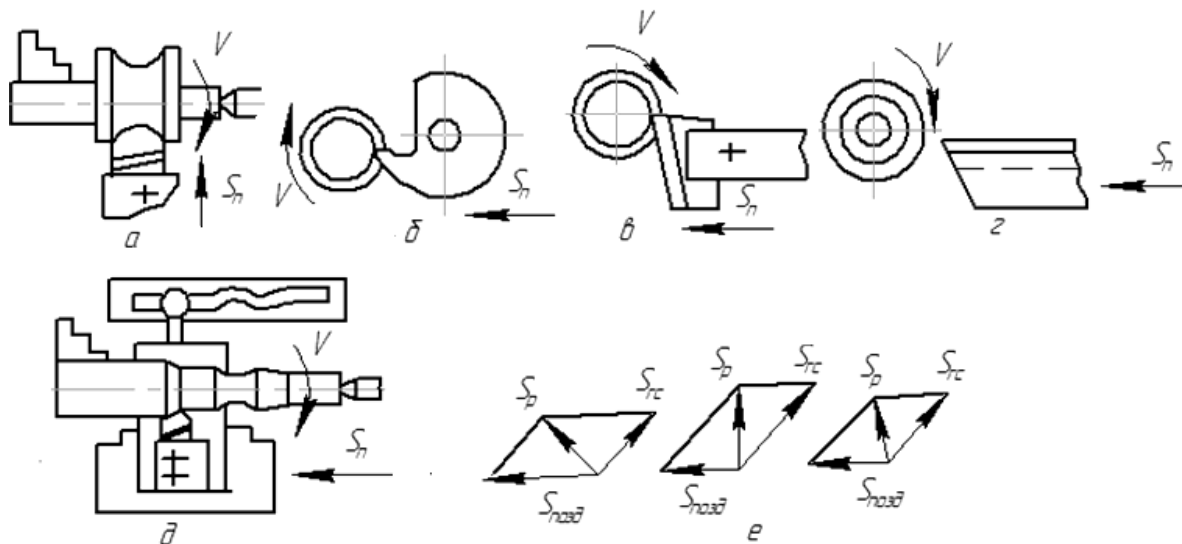


Рис. 3.7. Схеми обробки фасонних поверхонь на токарно-гвинторізних верстатах

За характером роботи точіння розділяють на:

- *чорнове точіння*, що дозволяє забезпечити точність оброблених поверхонь 12–11 квалітетів з шорсткістю R_a 40–20 мкм;
- *напівчистове* – 10–11 квалітет, R_a 10–2,5 мкм;
- *чистове* – 8–9 квалітет, R_a 1,25–0,63 мкм.

Технологічність деталей. При конструюванні технологічних деталей з поверхнями обертання, які будуть виготовлятися на токарних верстатах, необхідно урахувувати особливості обробки на верстатах токарної групи.

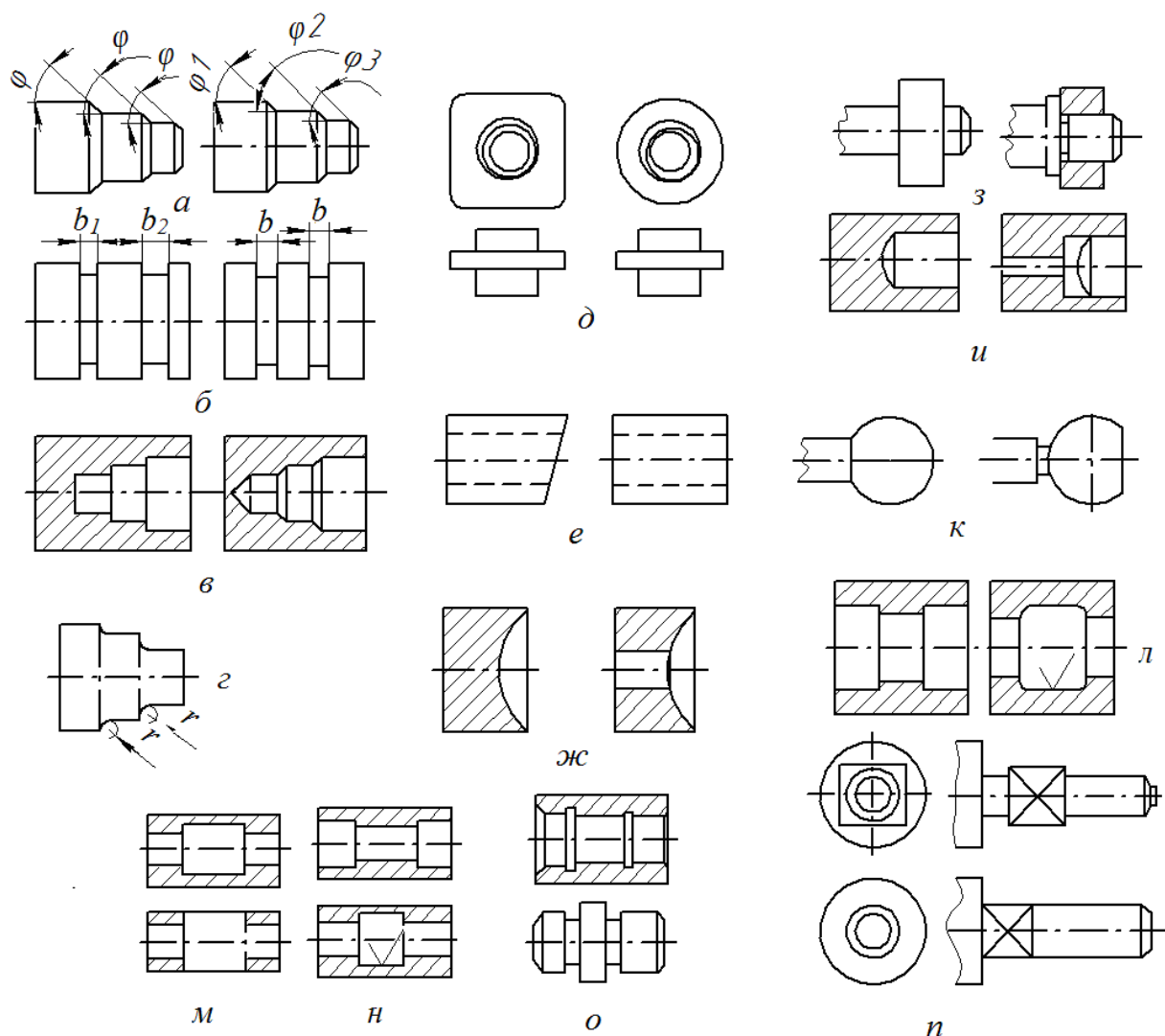


Рис. 3.8. Приклади поліпшення технологічності деталей

На рис. 3.8 наведені приклади поліпшення технологічності деталей:
а – необхідно передбачати однакові кути нахилу перехідних фасок, що дозволяє обробити їх одним різцем;

б – однакова ширина канавок дозволяє проточити їх одним канавковим різцем;

в – по можливості, при обробці ступінчастих отворів послідовним свердлінням і розсвердлюванням, або зенкеруванням, передбачати перехідні фаски, які отримують свердлінням або зенкеруванням і виключають додаткове розточування отворів;

г – необхідно проектувати однакові радіуси галтелей, які можна обробити одним різцем;

д – необхідно уникати деталей з квадратними фланцями, які неможливо обробити на універсальних токарних верстатах;

е – торці втулок повинні бути перпендикулярними до осі отвору;

ж – при обробці внутрішніх сферичних поверхонь необхідно у вершині сфери передбачати отвори;

з – при обробці деталей класу «диски» з отворами, на оправці передбачають бурт, що поліпшує базування;

і – іноді, при конструюванні внутрішніх сферичних поверхонь, доцільно застосовувати відповідні вставки;

к – при обробці зовнішніх сферичних поверхонь, необхідно в зоні вершини передбачити площадку;

л – лита втулка з двосторонніми отворами замінена на втулку, яку можна обробити за один установ;

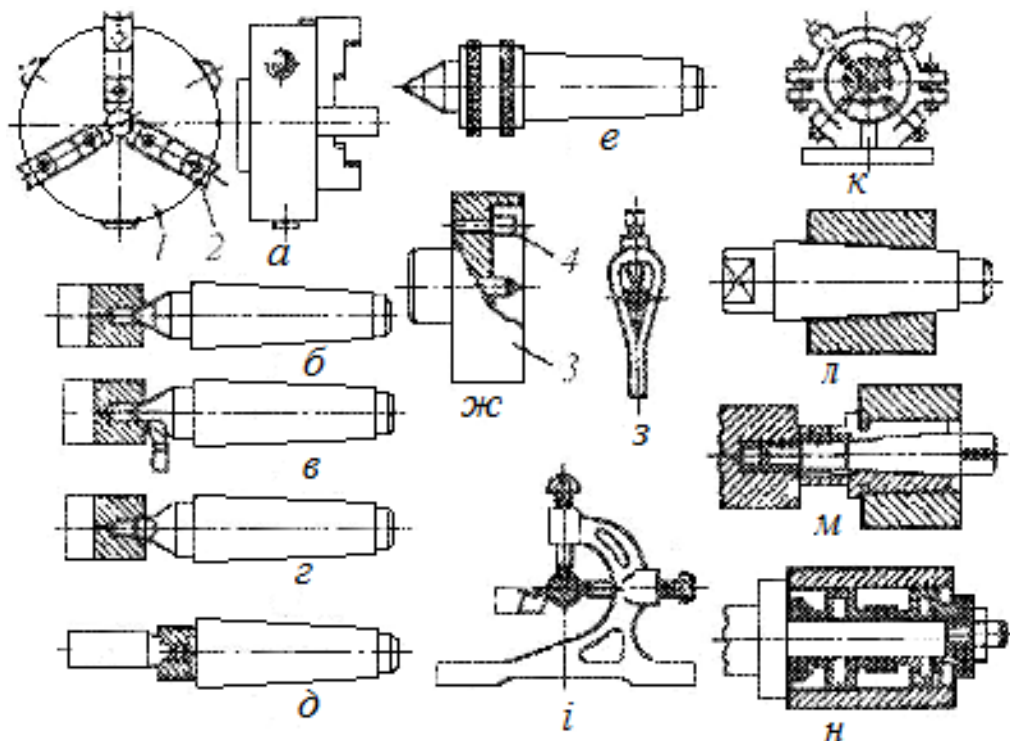


Рис. 3.9. Пристрої для закріплення заготовок на токарних верстатах

м – іноді поверхні, до яких не пред'являються високі вимоги щодо точності і шорсткості, доцільно отримувати з прутка необробленими, що зменшує трудомісткість і розхід металу;

н – не технологічно призначати високі вимоги до якості поверхонь, закритих для доступу різального і міряльного інструмента;

о – для різьб, нарізуваних різцями, та для обробки поверхонь шліфуванням, необхідно передбачати канавки для виходу інструмента;

п – необхідно уникати виступаючих елементів на обточуваних поверхнях.

При обробці на токарних верстатах (рис. 3.9), заготовки можуть установлюватися: в патроні консольно, в патроні і задньому центрі, в передньому і задньому центрах, на оправці, в патроні і люнеті, на косинці, на планшайбі, в спеціальних пристроях тощо.

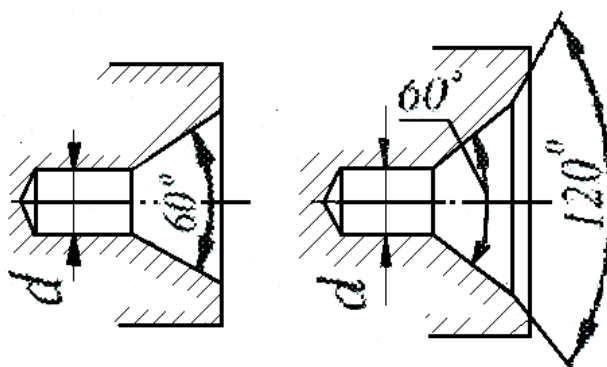


Рис. 3.10. Центрові отвори

3.2.2. Обробка в центрах

В центрах оброблюють довгі заготовки ($l/d \geq 6$) валів, шпинделів, заготовок пониженої жорсткості, а також установлюють деякі типи оправок. Це дуже точне базування. У цьому випадку базою служать стандартні центрові отвори (рис. 3.10), які можуть бути прямими (рис. 3.9, б) і зворотними для $d \leq 8$ мм (рис. 3.9, д). Прямі центрові отвори можуть мати захисний конус під кутом 120° , що дозволяє підрізувати торець обробленої заготовки і захищає конус від пошкоджень.

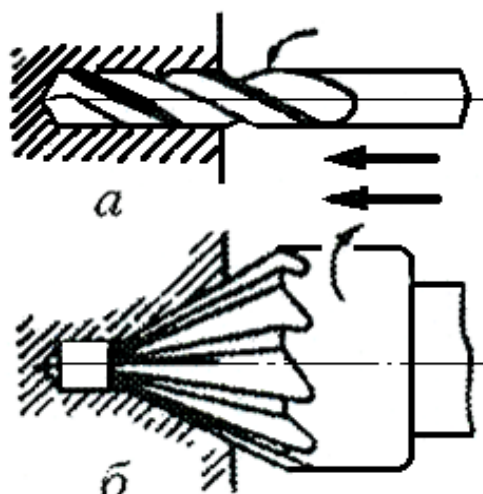


Рис. 3.11 Схема обробки центрального отвору за два переходи

Обробка центрових отворів – відповідальна операція і може виконуватись: за два переходи (рис. 3.11) – свердлінням отвору малого діаметра і зенкуванням конічного отвору; комбінованим центровальним свердлом (рис. 3.12) за один перехід.

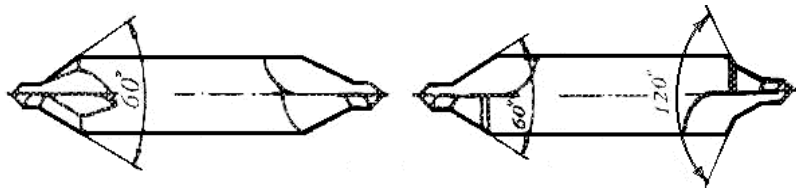


Рис. 3.12. Комбіновані центровальні свердла

У МВ та ВСВ застосовують двопозиційні фрезерно-центрувальні напівавтомати та верстати барабанного типу, у яких на першій позиції одночасно фрезерують дві торцеві поверхні (рис. 3.13, а), а на другій позиції зацентровують два отвори (рис. 3.13, б).

Заготовки з центровими отворами установлюють у центрах верстата. Центрувальні свердла виготовляють з інструментальних сталей У7А – У10А, або з швидкорізальних сталей, і гартують.

Центри (рис. 3.9, б – г) мають хвостовики з самогальмівним конусом Морзе і вставляються в конічний отвір шпинделя або пінолю задньої бабки.

При обробці передній центр обертається разом з заготовкою, а задній нерухомий. Щоб задній центр менше зношувався, його виготовляють з твердосплавним наконечником з ВК8 або Т15К6 і змащують тавотом. Нерухомі задні центри працюють з $n \leq 700\text{--}900$ об/хв. При обробці з великою частотою обертання шпинделя застосовують центри, що обертаються. Вони не такі точні як нерухомі, тому радіальне биття неспрацьованого центра 0,010–0,015 мм, але допускають обробку практично з будь-якою частотою обертання шпинделя.

Пристрої для передачі крутного моменту. Заготовку в центрах можна тільки збазувати і закріпити, але вона буде вільно прокручуватись (1 ступінь вільності залишається). Для передавання крутного моменту від шпинделя до заготовки застосовують такі пристрої. Хомутик (рис. 3.9, з).

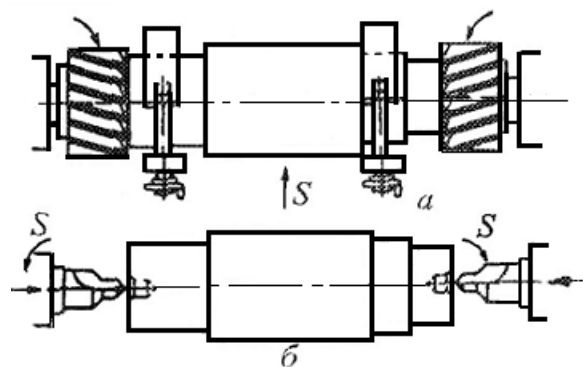


Рис. 3.13. Схеми обробки торців валів на фрезерно-центрувальних верстатах

Це фактично призма, в якій вал закріплюється гвинтом. Хомутик кожен раз одягається на нову заготовку. Крутний момент на оброблювану заготовку (рис. 3.9, ж) передається за допомогою пальця 4 повідкового патрона. Цей спосіб відрізняється простотою і високою точністю, застосовується в ОВ та МСВ на токарних і шліфувальних верстатах. Його недоліки: великі затрати допоміжного часу на установку заготовки, неможливо обробити частину заготовки під хомутиком, можливе пошкодження поверхні заготовки при затисканні гвинтом, відносно малий крутний момент, що передається.

Їх недоліки: неможливо обробити заготовку напрохід, можливе пошкодження поверхні заготовки при затисканні кулачками, при установці на передній жорсткий центр отримуємо велику похибку осьового базування, яка залежить від точності осьових отворів.

Застосовують також патрони, які передають $M_{кр}$ через торець. При цьому установка заготовки і її самозакріплення виконується за допомогою заднього центра (рис. 3.14). Він підтискає заготовку, що установлена на плаваючому передньому центрі, до насічки на шайбі, яка може самоустановлюватися. Це дуже простий патрон, що відрізняється високою швидкістю, можна обробити заготовку напрохід. Його недоліки: відносно невеликий $M_{кр}$, що передається; необхідно передбачати велику торцеву поверхню на заготовці з боку шпинделя

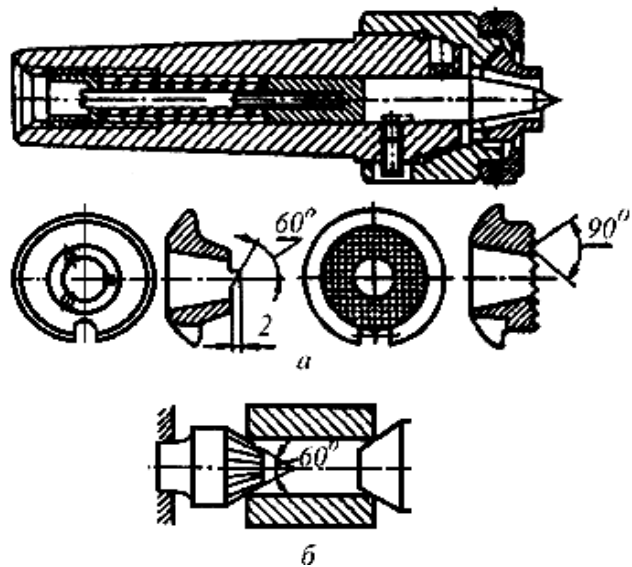


Рис. 3.14. Центри, що обертають оброблювану заготовку

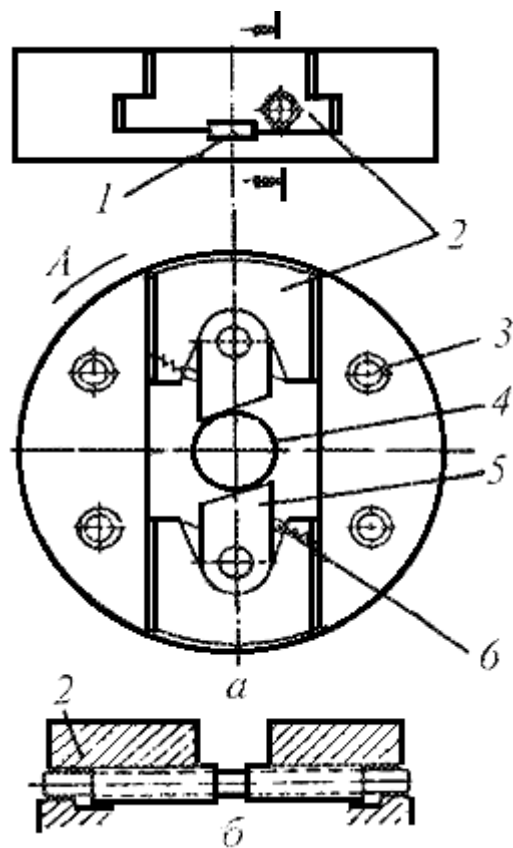


Рис. 3.15. Самозатискний повідковий патрон

верстата; передній рухомий центр має люфти, тому невисока точність радіального базування; зубці псують торцеву поверхню на заготовці; нежорсткі вали під дією осрової сили можуть мати поздовжній вигин.

Заготовки типу труби при чорновій обробці часто базують на передньому рифленому центрі (рис. 3.14, б) і задньому гладкому. Це дуже простий спосіб, але він не забезпечує високої точності базування і псується внутрішня поверхня.

В МВ та ССВ застосовують швидкодіючі *затискні повідкові патрони*, які не базують заготовку, а тільки передають крутний момент. Їх дуже багато, але в усіх базування виконується в центрах, як найточніше. На токарних напівавтоматах широко застосовують самозатискні патрони з ексцентрикними кулачками (рис. 3.15). Заготовка 4 установлюється в центрах і при цьому пружини 6 відводять кулачки 5 від контакту з заготовкою. При вмиканні обертання шпинделя під дією відцентрових сил кулачки повертаються і, розтягуючи пружини 6, входять в контакт з заготовкою 4. При врізуванні різця в заготовку момент різання змушує повернутися заготовку і ексцентрикові кулачки самозатягуються. Щоб не було одностороннього радіального навантаження, середня частина 2 такого патрона виконується плаваючою, тобто може самовстановлюватися. Такі патрони відрізняються високою швидкодією і надійністю кріплення, великим $M_{кр}$, що передається.

3.2.3. Установка заготовок в патронах

У патронах консольно установлюють заготовки довжиною $l \leq 5d$, а з підтриманням заднім центром – і довші. Патрони розділяють.

За способом базування (центрування) заготовки на - *самоцентруючі і несамоцентруючі*.

За способом передавання $M_{кр}$ на заготовку на:

- затискні патрони, в котрих базуючі і затискні поверхні не співпадають (наприклад, розглянуті вище повідкові патрони, в котрих заготовка базується в центрах, а $M_{кр}$ передається додатковим пристроєм - повідком);
- патрони, в котрих базуючі і затискні поверхні співпадають.

Несамоцентруючий патрон (рис. 2.26) має 4 кулачки з незалежним приводом типу гвинт-гайка. Установка заготовок виконується з вивірянням на верстаті і займає багато часу. Якщо зняти кулачки, то отримаємо планшайбу з пазами та різьбовими отворами (рис. 3.16) для кріплення заготовки. Такі патрони і планшайби відрізняються дуже високою універсальністю, дозволяють закріплювати заготовку будь-якої форми або

токарні пристрої. Але базування і закріплення займають багато часу. Їх широко застосовують при обробці великих заготовок і заготовок неправильної форми.

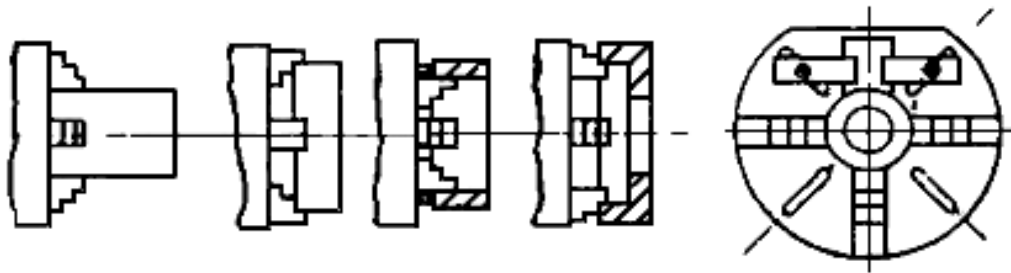


Рис. 3.16. Способи закріплення заготовок

Самоцентруючі патрони. Найширше застосовують трьохкулачкові спіральні патрони (рис. 3.9, а). Особливість цього патрона в тому, що усі кулачки переміщуються синхронно (одночасно) і віддаль від опорної поверхні кулачка до осі патрона завжди однакова для трьох кулачків.

У корпусі патрона установлені три конічні приводні шестерні, що знаходяться у постійному зачепленні з центральним зубчастим колесом. При повертанні однієї з шестерень колесо обертається і три кулачки, що знаходяться в постійному зачепленні з спіраллю Архімеда на торці зубчастого колеса, одночасно сходяться або розходяться. Їх достоїнство в тому, що базування і закріплення заготовок виконується одночасно і дуже швидко, тому що центруючі і затискні поверхні кулачків співпадають. Недоліки: відносно низька точність центрування (нового патрона складає 0,05–0,1 мм, зношеного – 0,15–0,4 мм); понижена універсальність – можна затискати тільки круглі заготовки і багатогранні з кількістю граней, кратною трьом; підвищений знос патронів і швидка втрата точності через змінні радіуси кривизни спіралі Архімеда і постійні радіуси кривизни пазів кулачків, тому контакт здійснюється не по площинах, а по лініях.

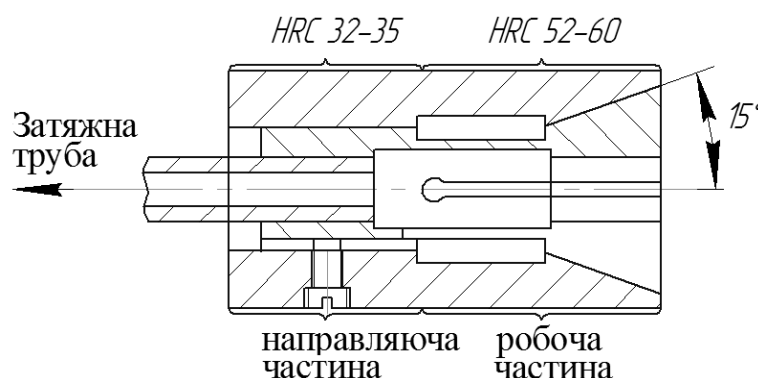


Рис. 3.17. Цанговий патрон

Цангові патрони (рис. 3.17) – це патрони з пружними елементами, до яких також відносяться патрони з тарілчастими пружинами і гідропластом. Цангові патрони широко застосовуються для затискання каліброваних прутків точністю не гіршою 12-го квалітету при обробці на токарно-револьверних верстатах і токарних автоматах, а також для затискання попередньо оброблених заготовок. Основним елементом цангового патрона є цанга, що представляє собою розрізну гільзу з 3, 4, 6-ма і більшою кількістю пелюсток. Цанги виготовляють з якісних інструментальних сталей і гартують. При затягуванні цанги пелюстки сходяться і затискають заготовку переважно круглого або багатогранного перерізу. Сила затягування прикладається механічно від пневмоприводу або гідроприводу. Цанги забезпечують високу точність центрування (до 0,01–0,02 мм), тобто на порядок вищу, ніж при закріпленні в спіральних патронах. Вони відрізняються простотою, швидкодією, легко автоматизуються. Їх недоліки: базові поверхні заготовок повинні бути оброблені не гірше ніж за 12 квалітетом точності; для затискування заготовок різних діаметрів необхідно мати набір цанг; відсутність точного осевого базування заготовки, тому застосовують додаткове підрізування торця, цанги з подвійним затисканням, штовхаючі цанги.

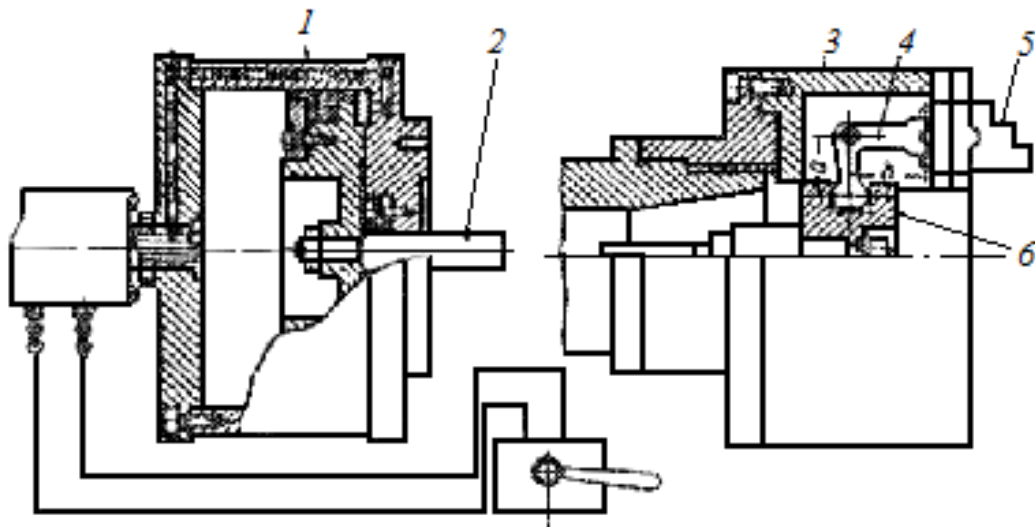


Рис. 3.18. Патрон з пневматичним затиском

Двокулачковий патрон з пневмозатискачем (рис. 3.18) також нагвинчується на шпindelь верстата, як і спіральний. Усередині патрона проходить шток-тяга 2 до пневмоциліндра 1. При переміщенні штока вліво муфта 6 повертає 2 важелі 4 з зубчастими секторами і кулачки 5, що знаходяться в зачепленні з важелями, сходяться. У процесі обробки

циліндр, що кріпиться на другому кінці шпинделя, обертається. Усі двокулачкові патрони, як правило, спеціалізовані, тобто мають спеціальні кулачки, підібрані за формою заготовки. Їх достоїнства: висока швидкодія і достатньо висока точність центрування – 0,05–0,2 мм; надійність кріплення (тиск повітря 0,4–0,5 МПа, а тиск в гідроциліндрах, які рідко застосовують, – 3–4 МПа). Проте наявність масивних пневмоциліндрів, що обертаються, обмежує частоту обертання шпинделя, виникає дисбаланс. Такі патрони застосовуються рідко і їх замінюють досконалішими патронами з гідроприводом.

3.2.4. Установка заготовок на оправках

Оправки застосовують для установки і базування заготовок, в котрих технологічними базами є отвори. Вони дозволяють отримати високу концентричність зовнішніх оброблюваних поверхонь відносно базових внутрішніх і застосовуються для обробки втулок, шестерень, фланців, дисків тощо. Установка на оправках завжди є більш точною ніж у патронах.

Оправки розділяють: за способом установлення самої оправки на верстаті – на консольні і центрові; за конструкцією оправок – на жорсткі і розтискні (з пружними елементами).

Консольні оправки можуть з силою вставлятися в точний конічний отвір шпинделя, як кінцеві інструменти, і утримуватись там силами тертя, або закріплюватися в патроні верстата (в цьому випадку для підвищення точності базування оправку необхідно після закріплення проточити). Якщо оправка установлюється в центрах, то крутний момент може передаватися будь-яким з раніше розглянутих способів (наприклад, за допомогою повідкового патрона).

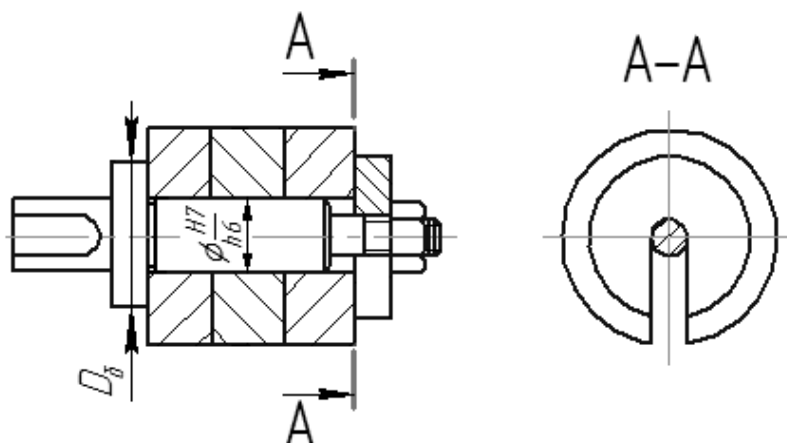


Рис. 3.19. Установка заготовок на жорсткій оправці (посадка з зазором)

Жорсткі оправки. Вони можуть бути як центровими, так і консольними. Застосовуються для обробки заготовок з отворами 7-9-го квалітету точності.

Оправка з вільною посадкою заготовки (рис. 3.19), коли заготовки установлюють по одній з посадок з зазором. При цьому діаметр оправки виготовляють з точністю $h6$, $g6$, $f7$. Щоб можна швидко знімати заготовки, застосовують швидкозмінні шайби. Такі оправки відрізняються простотою, можна зразу оброблювати декілька заготовок напрохід, високою точністю осьового базування. Але наявність зазору знижує точність центрування.

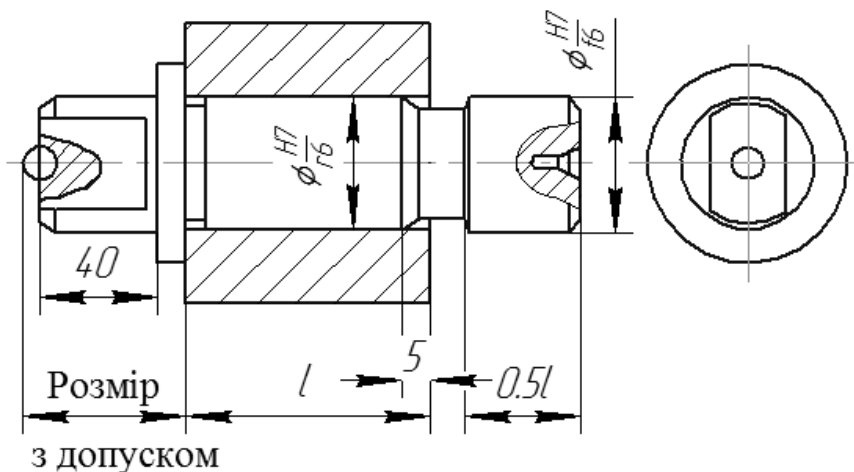


Рис. 3.20. Установка заготовок на жорсткій оправці (посадка з натягом)

Пресові оправки (рис. 3.20) характеризуються тим, що спряження заготовки з оправкою виконується по пресовій (легко, а не гарячій) посадці $H7/r6$, $H7/s6$. Їх достоїнства: найвища точність центрування в порівнянні з іншими способами, яка залежить від точності оправки; можливо передавати великі $M_{кр}$. Недоліки: необхідна висока точність базового отвору в оброблюваній заготовці; великі затрати часу і необхідне спеціальне обладнання для напресування і розпресування заготовки; підвищений знос оправки; непостійність передаваного моменту $M_{кр}$, що залежить від величини натягу.

На шліцьових оправках оброблюють шестерні, шківів, втулки тощо. При цьому суттєво збільшується $M_{кр}$, який передається оправкою.

Жорсткі конічні оправки (рис. 3.21) застосовують для обробки заготовок з циліндричним базовим отвором. За рахунок малої конусності ($1/1000$ – $1/3000$) оправки, заготовка легким ударом лівого кінця оправки об мідну підставку надійно базується і закріплюється на ній. Ці оправки відрізняються простотою, можуть передавати великі $M_{кр}$. Їх недоліки: необхідна точна обробка базового отвору по H7; низька точність осьового

базування, тому їх найчастіше застосовують для обробки напрохід.

Розтискні оправки. Вони відносяться до пристроїв з пружними елементами. Найширше застосовують цангові оправки, оправки з тарілчастими пружинами і оправки з гідропластом.

Цангова оправка має розрізну цангу (рис. 3.22). При загвинчуванні гайки цанга переміщується вліво, її діаметр збільшується і закріплює заготовку. Після обробки гайку вигвинчують, цанга за допомогою пружини (на рис. не показано) зміщується вправо, її діаметр зменшується і заготовка вільно знімається з оправки. Цанга може розтискатися до 0,5 мм, а точність центрування – 0,02–0,03 мм. Щоб цанги не тріскались, в кінці пазів засвердлюють отвори.

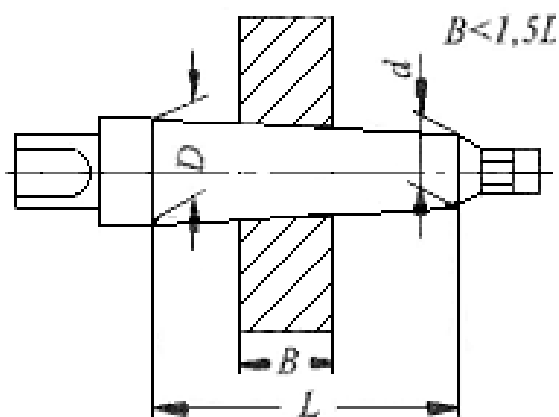


Рис. 3.21. Установка заготовок на жорсткій конічній оправці

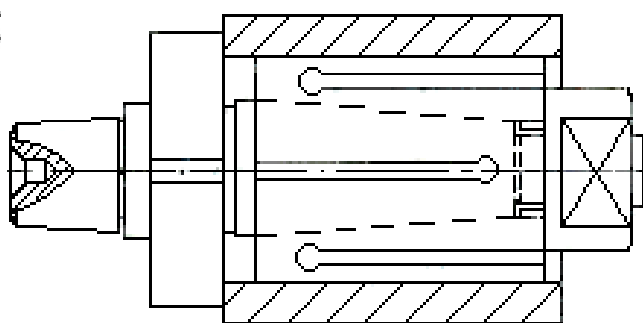


Рис. 3.22. Установка заготовок на розтискній цанговій оправці

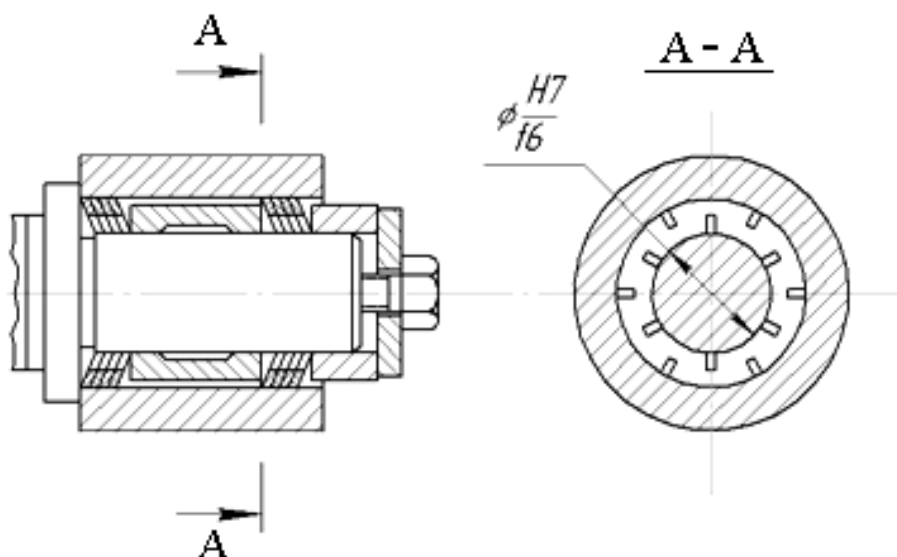


Рис. 3.23. Установка заготовок на оправці з тарілчастими пружинами.

Оправки з тарілчастими пружинами (рис. 3.23) мають два блоки пружин. При стисканні такої пружини її діаметр дещо збільшується. Загвинчуючи гвинт, через дві втулки стискають два блоки пружин. При цьому їх діаметр збільшується на 0,2–0,3 мм і вони закріплюють заготовку.

Точність центрування – до 0,03 мм.
При викручуванні гвинта діаметр пружини зменшується і заготовка легко знімається. Ці оправки жорсткіші ніж цангові.

Оправка з гідропластом (рис. 3.24) складається з тонкостінної (0,1–0,2 мм) втулки, напресованої на корпус оправки. Порожнина корпусу оправки заповнена желеподібним матеріалом – гідропластом. При загвинчуванні гвинта плунжер тисне на гідропласт і діаметр втулки збільшується, затискаючи заготовку. Такі оправки відрізняються дуже високою точністю центрування (до 5 мкм), тобто це найточніші оправки з пружними елементами. Їх недоліки: базовий отвір у заготовці повинен бути виконаний не гірше 9-го квалітету точності; труднощі виготовлення оправки; тонкостінна оправка потребує дуже обережного відношення, не дозволяється її розтискати без установлення заготовки, щоб не розірвати. Тому такі оправки застосовують, як правило, при тонкій і чистовій обробці.

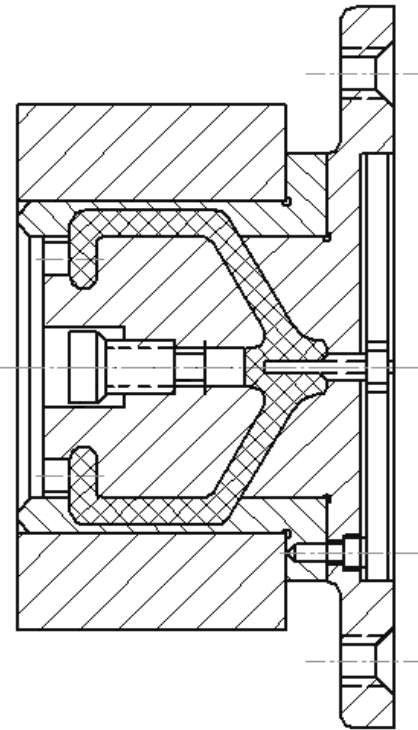


Рис. 3.24. Установка заготовок на розтискній оправці з гідропластом.

3.2.5. Інші способи установки заготовок на токарних верстатах

Установка заготовок на косинцях застосовується при обробці заготовок корпусів і заготовок некруглої форми. Косинець кріпиться на планшайбі верстата і на ньому утворюють бази для установки заготовки, тобто якби складається спеціальний токарний пристрій. При такій установці забезпечується висока точність обробки, можна обробити складні циліндричні поверхні, які неможливо обробити на свердлильних верстатах. Їх недоліки: висока складність пристроїв; трудно механізувати затискання заготовок, тому що заготовка обертається разом з патроном або пристроєм; необхідність балансування пристрою з заготовкою.

При обробці довгих нежорстких заготовок ($l/d \geq 12-15$) для підвищення їх жорсткості застосовують *люнети*. Лунети розділяються на рухомі і нерухомі (рис. 3.9, и, к).

Рухомі лунети застосовують для обточування гладких валів. Їх установлюють на супорті верстата так, щоб опорні кулачки розміщувалися позаду різця, опираючись на оброблену поверхню.

Нерухомі лунети застосовують при обробці ступінчастих валів. Їх установлюють на станині верстата і підвищують жорсткість оброблюваного вала у 8–11 разів. Для обробки в нерухомому лунеті попередньо на заготовці необхідно проточити опорну шийку під кулачки або ролики лунета. Після обробки однієї половини заготовки її переставляють.

Нерухомий лунет з двома кулачками, що установлюється на задній стінці станини, дозволяє оброблювати заготовку на столі без її перестановки. Кулачки лунетів оснащують наконечниками або роликами.

3.2.6. Розрахунок режимів різання при точінні

Оптимальний режим різання – це режим, що забезпечує найбільшу продуктивність і найменшу собівартість обробки, при отриманні поверхні заданої якості.

Ми будемо визначати режим різання, близький до оптимального, при якому максимально використовуються різальні властивості інструмента і потужність обладнання.

У якій послідовності визначають h , S_0 і V ?

Для вирішення цього питання розглянемо формулу продуктивності Q при різанні, тобто кількість металу, що зрізується за одиницю часу.

Очевидно, що $Q = FV = AhS_0V$,

де F – поперечний переріз зрізу, A – коефіцієнт, що враховує вплив кута φ_1 на F .

Для визначення режиму різання повинні бути відомі:

- матеріал деталі та його фізико-механічні властивості; припуск на обробку;
- спосіб установки і кріплення заготовки;
- повна характеристика верстата (n , S , N_e , $[P]_{\text{позд}}$ тощо).

Ми повинні:

- вибрати матеріал різальної частини різця (за довідником);
- призначити форму заточки і геометричні параметри різця (за довідником);

- визначити i , h , S_0 , V , тобто елементи режиму різання (тут i – кількість операцій (переходів), необхідних для обробки поверхні, яка залежить від якості обробленої поверхні або припуску на обробку).

Виходячи з емпіричної формули для швидкості різання (при обробці вуглецевої сталі твердосплавним різцем Т15К6)

$$V_i = \frac{C_v}{T^m h^{x_v} S_0^{y_v}} * K_v = \frac{C'_v}{h^{x_v} S_0^{y_v}} = \frac{C'_v}{h^{0.15} S_0^{0.35}},$$

і враховуючи конкретні показники степенів, неважко показати, що: при збільшенні глибини різання h в 2 рази швидкість різання знижується на 10 %, а продуктивність обробки збільшується в 1,8 разу; при збільшенні подачі S_0 в 2 рази V зменшується на 22 %, а продуктивність праці зростає в 1,56 разу.

Звідси висновок, що для досягнення максимальної продуктивності обробки (за різцем), необхідно спочатку призначити максимальну глибину різання h (тобто намагатися зрізати весь припуск за один перехід), а після вибрати найбільшу можливу подачу S_0 . Збільшення швидкості різання V повинно досягатися не за рахунок зниження h і S_0 , а за рахунок застосування раціональної геометрії інструмента, підвищення якості його матеріалу, застосування МОР тощо.

Якщо, виходячи з технічних вимог (наприклад, забезпечення заданої точності обробки, шорсткості), необхідно обробку виконувати за два переходи, то рекомендується за перший перехід зрізати 65–75 % припуску, а за другий перехід 35–25 %.

Якщо необхідно виконати три переходи, то на останній залишають припуск 0,1–0,3 мм на сторону, а решту припуску ділять як рекомендовано вище.

Після того, як призначили глибину різання, визначають максимальну подачу. Подача, з одного боку, обмежується шорсткістю обробленої поверхні $[S_0]_{ш}$ (у довідниках наведені значення подачі в залежності від R_a або R_z), а з іншого – допустимою силою різання $[P_z]$ - $[S_0]_{P_z}$.

Допустиму силу різання $[P_z]$ визначають виходячи з міцності заготовки, жорсткості заготовки, міцності механізму подачі верстата, навантажень на передній підшипник шпинделя і задній центр (якщо його застосовують), міцності державки різця, міцності пластинки різця тощо. Усі ці сили, в залежності від схеми навантажень системи ВПД, розраховують за формулами з курсу опору матеріалів і за мінімальною з них $[P_z]_{min}$ визначають подачу, яка допускається силами різання.

Для цього з формули для визначення сили різання

$$P_Z = C_{P_z} h^{x_{P_z}} S_0^{y_{P_z}} V^n K_{P_z}$$

визначають допустиму подачу

$$[S_0]_{P_z} = \left(\frac{[P_Z]_{\min}}{C_{P_z} h^{x_{P_z}} V^n K_{P_z}} \right)^{\frac{1}{y_{P_z}}},$$

де C_{P_z} – постійна для певної групи металів;

h, S_0, V – глибина різання, подача, швидкість;

x_{P_z}, y_{P_z}, n – табличні показники степеня;

$K = K_M \cdot K_\phi \cdot K_\gamma \cdot K_r \cdot K_h \cdot K_{MOP}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив, відповідно, оброблюваного матеріалу, головного кута в плані, переднього кута, радіуса різця при вершині, величини зносу різця, застосовуваної мастильно-охолодної рідини. Усі коефіцієнти табульовані і наведені в довідниках [27].

Розрахувавши значення $[S_0]_{\text{ш}}$ і $[S_0]_{P_z}$ та орієнтуючись на меншу з них, за верстатом підбирають найближче менше фактичне значення $S_{0\phi}$.

Маючи h і $S_{0\phi}$, визначають максимальну розрахункову швидкість різання V_i , яку допускає стійкість різця

$$V_i = \frac{C_V}{T^m h^{x_V} S_0^{y_V}} K_V,$$

де C_V – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу;

T – період стійкості різця, хв.;

m, x_V, y_V – табличні показники степеня;

K_V – поправочний коефіцієнт:

$$K_V = K_{MV} K_{PV} K_{iV} K_{\phi V} K_{\gamma V} K_{rV} K_{qV} K_{OV},$$

який, відповідно, враховує вплив оброблюваного матеріалу, стану оброблюваної поверхні, матеріалу інструмента, головного і допоміжного кутів у плані, поперечного перерізу державки, виду обробки (внутрішня, зовнішня).

Визначаємо швидкість різання, яку допускає потужність двигуна верстата

$$V_N = \frac{60000 N_e}{P_Z}, \text{ м/хв},$$

де N_e – ефективна потужність на шпинделі верстата, яка становить 0,8 від потужності двигуна верстата, кВт;

P_Z – тангенціальна сила різання, Н.

За меншою з двох швидкостей (V_i, V_N) визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D}, \text{ хв}^{-1},$$

де D – зовнішній діаметр оброблюваної поверхні, мм.

За верстатом призначаємо найближчу фактичну частоту обертання n_ϕ і визначаємо фактичну швидкість різання за формулою

$$V_\phi = \frac{\pi D n_\phi}{1000}, \text{ м/хв.}$$

На сучасних верстатах з ЧПК, які мають безступінчасте регулювання подач S та частоти обертання шпинделя n , призначають їх розрахункові значення.

3.2.7. Обробка на токарно-карусельних верстатах

Токарно-карусельні верстати (мод. 1512 з діаметром стола 1200 мм, 1525–2500 мм) призначені для обробки середніх та великих заготовок. Вони мають горизонтальний стіл – планшайбу, що виконує обертовий ГРП навколо вертикальної осі. Основна характеристика верстата – діаметр планшайби. Токарно-карусельні верстати випускаються серійно з діаметром стола від 0,5 до 16 м. Великі верстати установлюють в ямах, а планшайби для зручності роботи знаходяться на рівні підлоги цеху. На найбільших верстатах можна оброблювати заготовки діаметром до 24 м і масою до 500 та більше т.

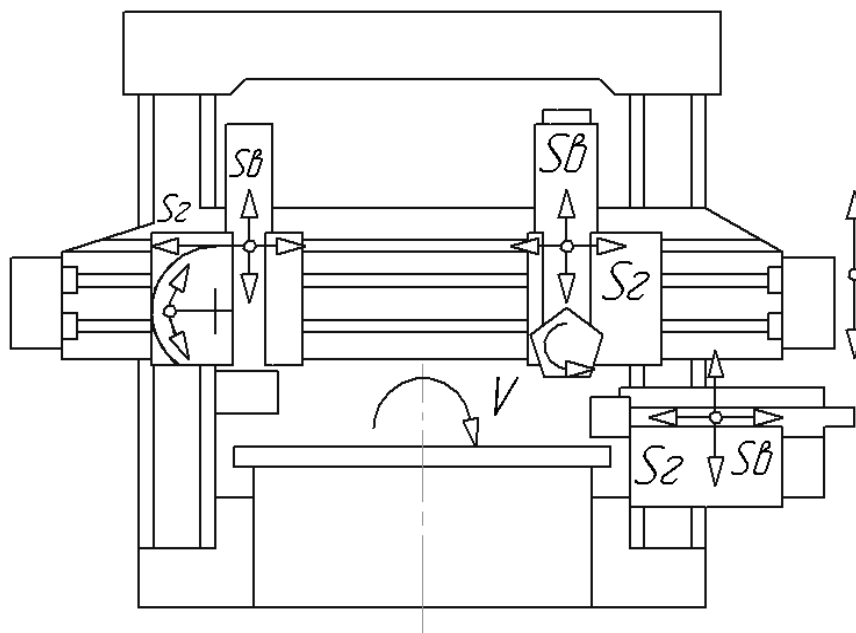


Рис. 3.25. Загальний вигляд токарно-карусельного верстата

Моделі верстатів з планшайбою діаметром до 1,6 метра включно – одностоякові (мод. 1512), а більші – двостоякові (мод. 1525, 1520, 1Л532).

Одностоякові верстати звичайно мають два супорти: один з п'ятипозиційною револьверною головкою на консолі, а другий – на боковому стояку.

Двостоякові верстати (рис. 3.25) мають два супорти на траверсі (один з них з п'ятипозиційною головкою) і один супорт на боковому стояку. Усі супорти мають вертикальну і горизонтальну подачу, а траверса має вертикальне установочне переміщення.

У машинобудуванні широко застосовують токарно-карусельні верстати з ЧПК мод. 1А512МФЗ, 1А516МФЗ, 1А525МФЗ, 1А532ЛМФЗ, які працюють у напівавтоматичному режимі.

Заготовка закріплюється на планшайбі чотирма кулачками з індивідуальним приводом або прихватами з вивірянням її положення. Решта (різці, режими, геометрія РІ) такі ж, як і на токарно-гвинторізних верстатах.

3.2.8. Обробка на токарно-револьверних верстатах

Токарно-револьверні верстати призначені для виготовлення деталей складної форми, що потребують застосування різних інструментів і мають не менше чотирьох оброблюваних поверхонь (рис. 3.26).

Вони відрізняються від токарно-гвинторізних верстатів відсутністю задньої бабки, замість котрої установлений револьверний супорт з багатопозиційною головкою з отворами для інструментів типу різців, свердел, зенкерів, розверток, мітчиків, багатоінструментних державок тощо.

Наявність упорів, досконалість механізмів управління, швидка зміна інструментів з автоматичним перемиканням n і S , можливість за один перехід, завдяки багаторізцевим державкам, обробити декілька поверхонь дозволяє отримати продуктивність праці в декілька разів вищу, ніж при обробці на токарно-гвинторізних верстатах. Однак, через складність і тривалість налагодження, токарно-револьверні верстати рекомендується застосовувати в ССВ. Вони дозволяють при консольному кріпленні заготовок виготовляти деталі з прутків діаметром до 100 мм, або з штучних заготовок діаметром від 160 до 630–800 мм (важкі револьверні верстати). Заготовки закріплюють у цангах або патронах з гідроприводом.

Токарно-револьверні верстати розділяють на верстати з вертикальною і горизонтальною віссю обертання револьверної головки.

Верстати з вертикальною віссю обертання револьверної головки, наприклад 1А365 (рис. 3.27, а), мають шестипозиційну револьверну

головку, яка виконує тільки поздовжню подачу, і різцевий поперечний супорт з чотирьохпозиційним різцетримачем (як у токарних верстатів), який може виконувати поздовжню і поперечну подачу.

Верстати з горизонтальною віссю обертання РГ, наприклад 1А341, (рис. 3.26, 3.27, б) мають тільки 12 – 16-ти (до 30) – позиційну РГ, яка виконує поздовжню і поперечну (по дузі) подачі. Поперечного різцевого супорта ці верстати не мають. В них обертання головки може використовуватися або як установочне для зміни інструмента, або для поперечної подачі

У виробництві широко застосовують токарно-револьверні верстати з ЧПК, які працюють в автоматичному режимі за заданою програмою: 1В34ОФ30, 1Е365ПФ3, 1П416Ф3 (вертикальної компоновки), 1П426Ф3.

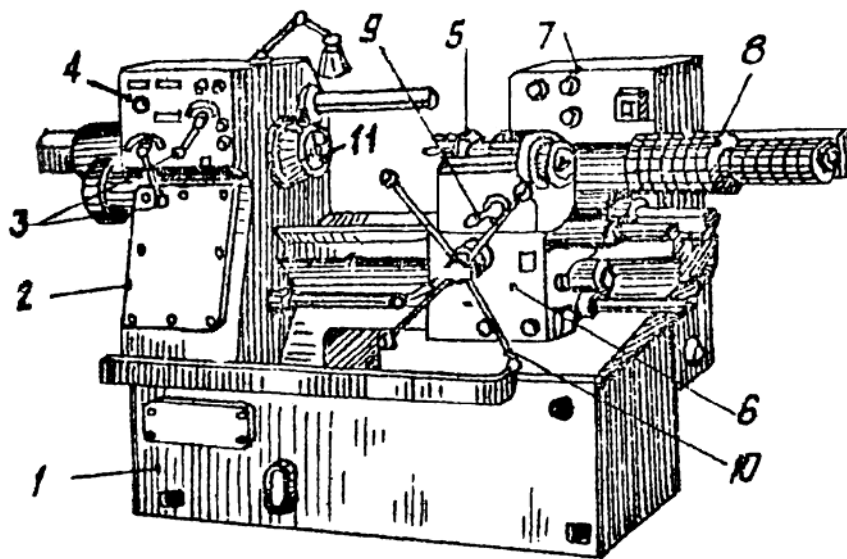


Рис. 3.26. Загальний вигляд токарно-револьверного верстата:

- 1 – станина;
- 2 – коробка подач;
- 3 – рукоятки перемикання швидкостей і подач;
- 4 – передня бабка з коробкою швидкостей і шпинделем 11;
- 5 – револьверна головка;
- 6 – супорт;
- 7 – шафа з електроустаткуванням;
- 8 – барабан упорів і кінцевих вимикачів, що перебуває на одній осі з револьверною головою й обертається разом з нею;
- 9 – маховик ручного повороту револьверної головки;
- 10 – штурвал для переміщення супорта по поздовжніх напрямних станін;
- 11 – шпиндель.

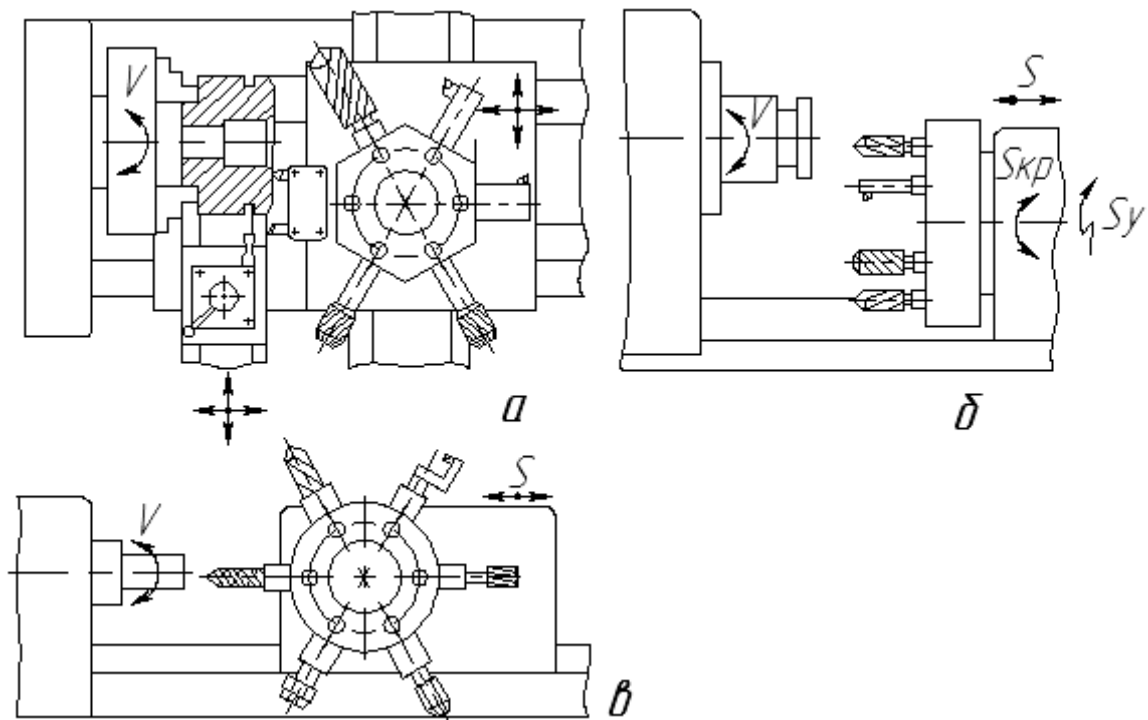


Рис. 3.27. Типи револьверних головок

На рис. 3.28 показана схема налагодження і обробки поверхонь на верстаті з вертикальною віссю обертання РГ. На цій схемі показано:

1 – вид налагодженої револьверної головки (зверху) з висунанням прутка до упору; 2 – підрізування торця заготовки різцем з поперечного супорту після висунання прутка; 3 – свердління отвору і обробка трьох поверхонь різцями на револьверному супорті; 4 – зенкерування отвору револьверним супортом і проточування канавки поперечним супортом; 5 – знімання фаски в отворі револьверним супортом; 6 – нарізування різьби головкою, установленою на револьверному супорті; 7 – відрізування деталі поперечним супортом. Таким чином, зайнято 5 позицій РГ і 3 позиції поперечного супорта.

Цю ж деталь можна було виготовити іншим шляхом. Чітких правил і рекомендацій немає і необхідно виходити з практики і конкретних умов. Але є загальні рекомендації. Наприклад, не рекомендується об'єднувати чорнову і чистову обробку в одній позиції.

Для підвищення продуктивності обробки на токарно-револьверних верстатах рекомендують:

- застосовувати складні інструментальні налагодження, що включають до 10–12 інструментів;
- застосовувати комбіновані інструменти типу свердло-зенкер, ступінчастий зенкер тощо;

- застосовувати групові налагодження для обробки групи подібних деталей;
- застосовувати одночасну роботу револьверного і поперечного супорта;
- застосовувати твердосплавні РІ.

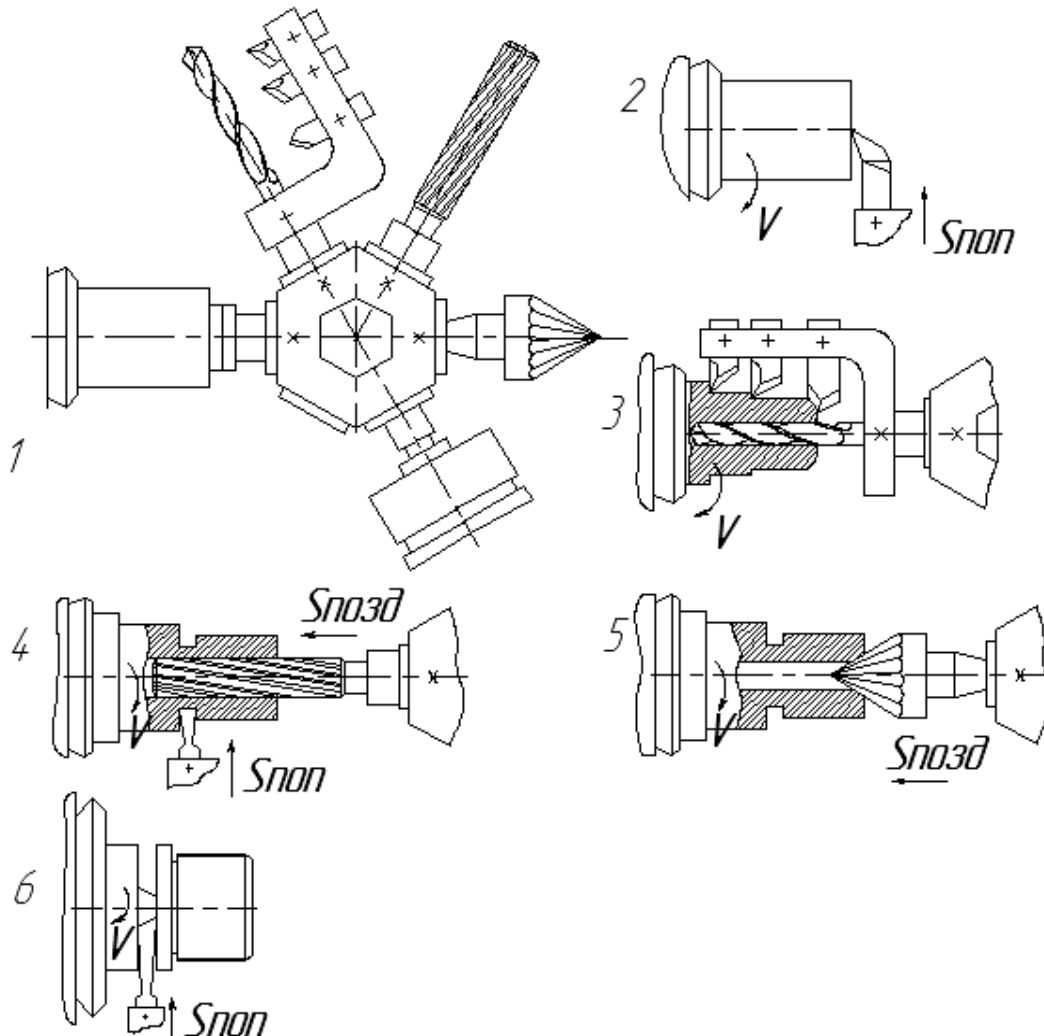


Рис. 3.28. Схеми обробки поверхонь заготовок на токарно-револьверних верстатах

3.2.9. Обробка на токарних одношпиндельних багаторізцевих напівавтоматах

Ці верстати відносяться до сьомого типу групи токарних верстатів – «багаторізцеві» верстати і включають:

- горизонтальні багаторізцеві верстати;
- горизонтальні гідрокопіювальні верстати;
- горизонтальні багаторізцево-копіювальні верстати ;

- вертикальні багаторізево-копіювальні верстати.

Обробка на горизонтальних токарних багаторізових напівавтоматах.

Конструктивні особливості цих верстатів зводяться до того, що вони мають два супорти (рис. 3.29, 3.30).

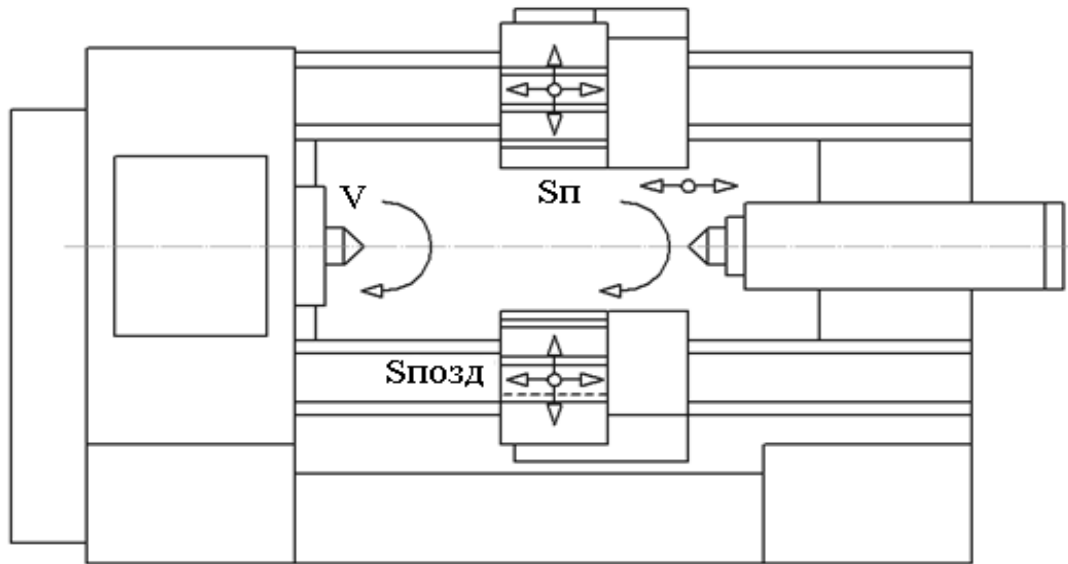


Рис. 3.29. Загальний вид токарного багаторізового напівавтомата

Передній жорсткий супорт призначений для одночасного поздовжнього точіння заготовок декількома різцями. Він має поздовжню подачу і, звичайно, врізається в заготовку під кутом 30° до осі заготовки (рис. 3.30).

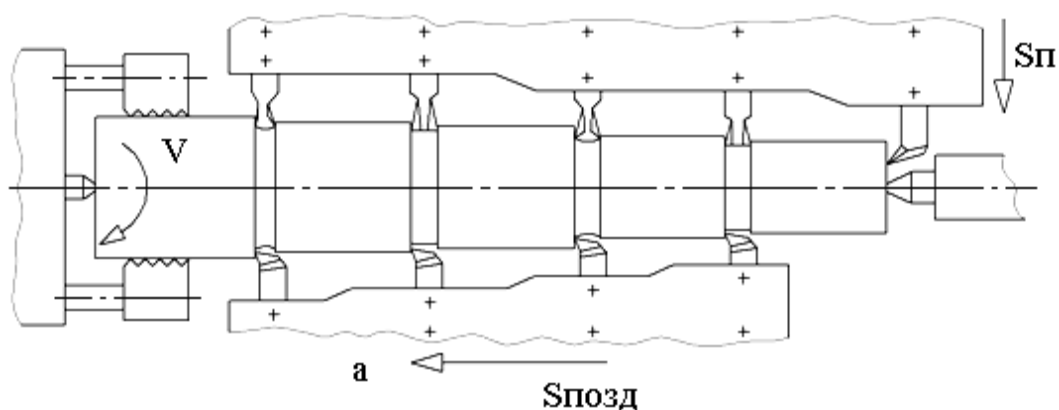


Рис. 3.30. Схеми обробки заготовок на токарному багаторізовому напівавтоматі

Задній супорт 3, де різці перевернуті, (рис. 3.31) має тільки

У позначенні верстатів 1Н720, 1Н730 указують максимальний діаметр обробки, відповідно, 200–300 мм. Ці верстати застосовують у ВСВ і МВ для зовнішньої обробки заготовок типу валів, шестерень, установлених на оправках, кулаків, шківів тощо.

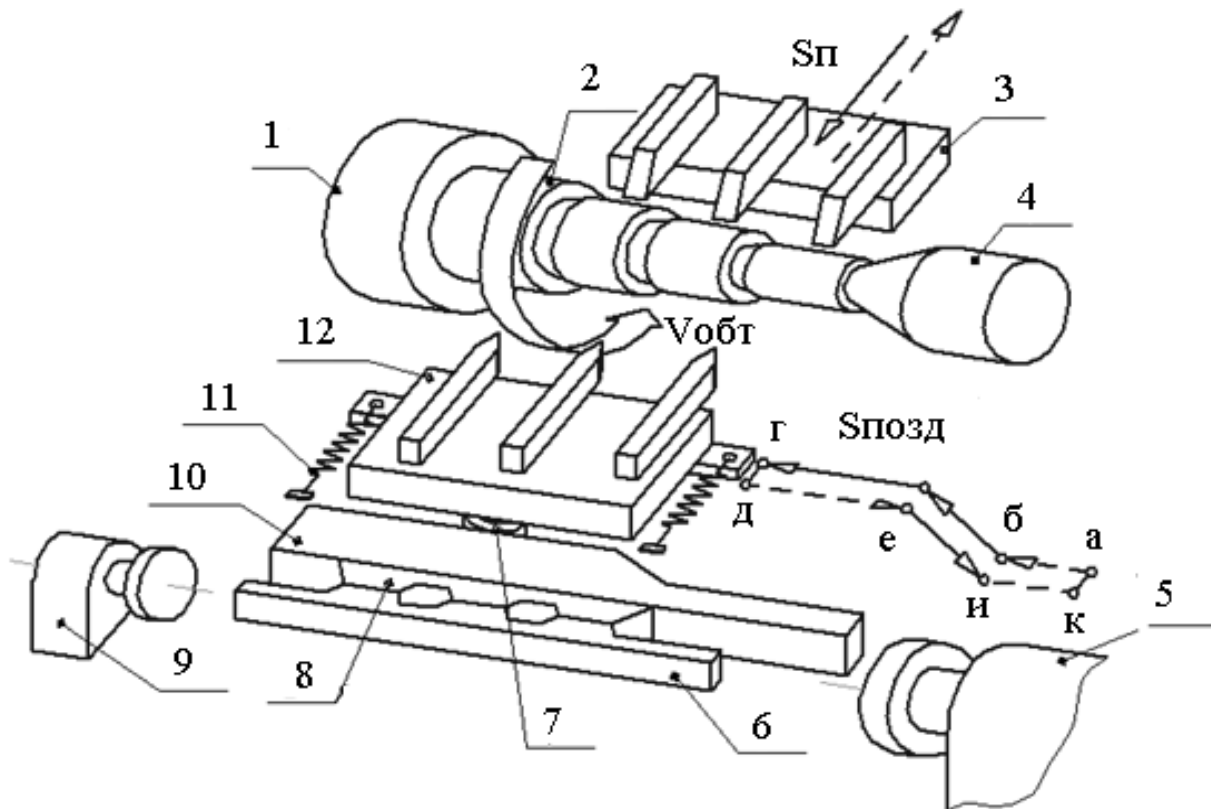


Рис. 3.31. Схема роботи багаторізцевого напівавтомата

Залежно від виду заготовки і її форми застосовують три схеми обробки валів переднім супортом.

Перша схема – ділення довжини обробки (рис. 3.32, а); застосовується при обробці заготовок валів з уступами приблизно однакової довжини. У цьому випадку довжина робочого ходу супорта дорівнює довжині максимального уступу вала, а час обробки зменшується майже у стільки разів, скільки різців одночасно працює.

Друга схема – ділення уступу максимальної довжини (рис. 3.32, б); застосовується при обробці заготовок з різною довжиною уступів або гладких валів. Для обробки найдовшого уступу застосовують декілька різців. Цей спосіб дозволяє значно скоротити довжину робочого ходу

супорта, яка дорівнює довжині максимального уступу з урахуванням розділення найбільш довгого.

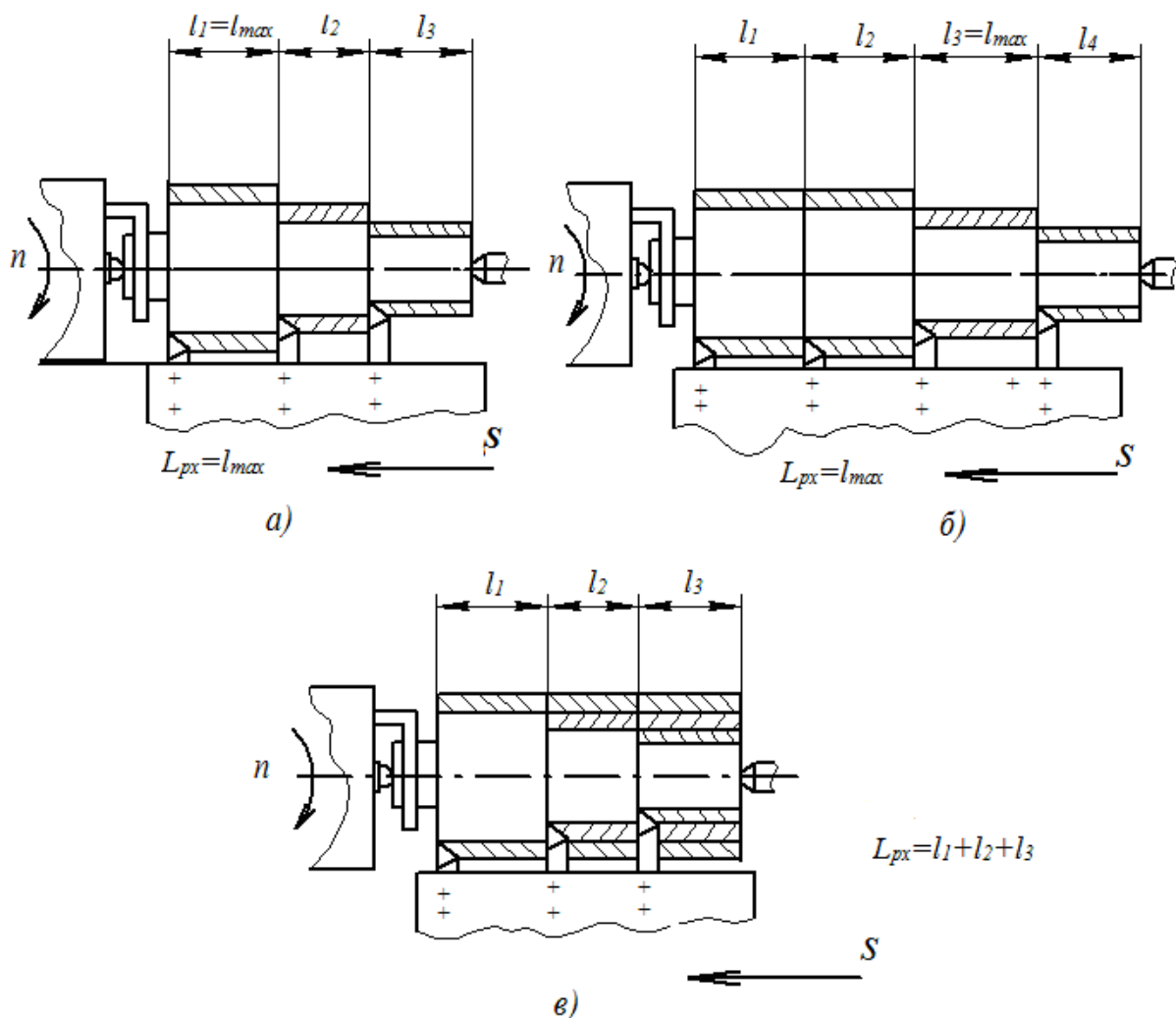


Рис. 3.32. Три схеми обробки валів на багаторізцевих верстатах

Його недолік у тому, що у місцях стику поверхонь, які оброблені різними різцями, утворюються уступчики, що недопустимо при чистовій обробці.

Третя схема - ділення припуску; застосовується, коли потрібно обробити короткі ступінчасті вали і зняти при цьому (рис. 3.32, в) великі припуски, а також при обробці заготовок з круглого прокату. Цей спосіб обробки менш продуктивний, тому що довжина робочого ходу супорта дорівнює сумарній довжині уступів вала. Його недоліком є те, що на

початку обробки супорт з різцями потрібно змістити вправо на довжину робочого ходу, що не завжди можливо через задню бабку.

Про доцільність застосування багаторізцевої обробки судять з конкретних умов (складність конструкції деталі) і часу налагодження верстата, $t_{\text{нал}} = 5k + 10$, хв, де k – кількість різців у наладці. Якщо урахувати, що кількість різців сягає 20 і більше, то час налагодження відносно великий. Налагодження різців виконують за еталонною деталлю. Звичайно багаторізцеву обробку застосовують для партії обсягом не менше 10 деталей.

На багаторізцевих верстатах заготовки найчастіше установлюють в центрах або на оправках, а $M_{\text{кр}}$ передається повідковим патроном. Точність обробки при старанному налагодженні – до 9 квалітету.

*Особливості і послідовність визначення режимів різання
на багаторізцевих верстатах*

При визначенні режимів різання ураховують наступне:

- недостатня жорсткість верстата і заготовки приводить до зменшення подачі в 2–3 рази у порівнянні з одноінструментною обробкою і обмежує кількість різців, що одночасно працюють при обробці;
- недостатня потужність верстатів знижує (іноді до 30–35 м/хв) швидкість різання і застосування різців з швидкорізальних сталей;
- період стійкості різців T при багатоінструментній обробці більший, ніж при одноінструментній, тому що часті переточування збільшують простій верстата (таб. 3.1).

Таблиця 3.1

Рекомендовані значення періоду стійкості T при багатоінструментній обробці

Кількість різців у наладці	Період стійкості T , г
5	2
6-12	5
13-20	10

Розрахунок режимів різання при багаторізцевій обробці виконують у такій послідовності:

1. Розробляють схему налагодження, визначають кількість і тип інструментів, їх геометрію, довжину переміщення, припуски на обробку.

2. Визначають глибину різання h для кожного різця, намагаючись зрізати весь припуск за один перехід.

3. Визначають подачу. Вона повинна бути максимальною, однаковою для усіх різців даного супорта і обмежуватися при чорновій обробці (як і при роботі одним інструментом) міцністю і жорсткістю заготовки, міцністю механізму подач тощо. При чистовій обробці подача

визначається шорсткістю обробленої поверхні. Міцність механізму подачі, жорсткість заготовки, потужність верстата та інше розраховують за сумарною силою різання від усіх різців.

4. Задавшись періодом стійкості T , визначають V і n для кожного інструмента. Приймають заходи щодо вирівнювання розрахункових значень n і періодів стійкості різця (наприклад, застосовують більш якісний матеріал різця, поліпшують його геометрію). Остаточно приймають фактичну частоту обертання заготовки n_f з тих, що є на верстаті.

5. Визначають загальну силу різання і перевіряють верстат за потужністю. При недостатній потужності верстата потрібно зменшити V , а не S . Розраховують продуктивність верстата.

Обробка на гідрокопіювальних напівавтоматах

Конструктивною особливістю гідрокопіювальних напівавтоматів (наприклад, мод. 1712, 1722) є наявність двох супортів.

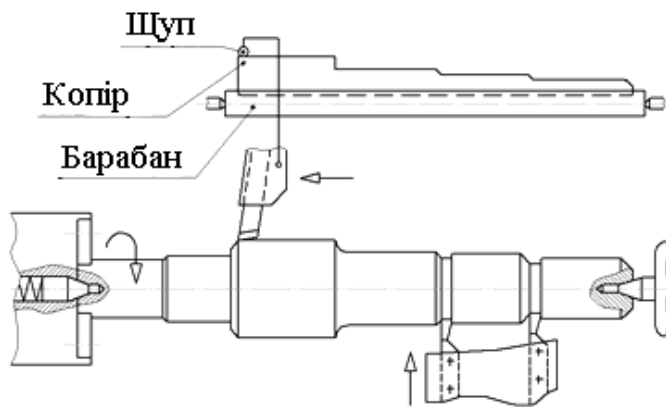


Рис. 3.33. Схема обробки заготовки на токарному гідрокопіювальному напівавтоматі

Верхнього жорсткого гідрокопіювального супорта, що має поздовжню подачу (рис. 3.33). При цьому щуп слідкуючого пристрою ковзає по копіру, а різець отримує при цьому відповідне поперечне переміщення. Цей супорт призначений для проточування з поздовжньою подачею зверху переважно одним різцем (відомі також і

багатоінструментні налагодження). Він дозволяє оброблювати прямий торець під кутом 90° і зворотний – під кутом до 45° . Точність роботи гідрокопіювального супорта складає $\pm 0,02$ мм.

Менш жорсткого нижнього супорта, що має тільки поперечну подачу і призначений для проточування канавок, підрізування торців, знімання фасок тощо. Обидва супорти можуть працювати одночасно. На цих верстатах прийнято ліве обертання шпинделя (рис. 3.34), при цьому сили різання притискають копіювальний супорт до направляючих, що підвищує жорсткість системи ВПД.

Гідрокопіювальні напівавтомати, при наявності авто-операторів для завантаження заготовок, легко вмонтовуються в автоматичні лінії, як з фронтальним, так і з наскрізним транспортуванням заготовок.

Найчастіше заготовки установлюють в центрах, рідше в патронах.

Розглядаючи процес обробки на гідрокопіювальних верстатах необхідно відмітити, що вони мають ряд переваг перед багаторізцевими.

Різець (переважно один) налагоджується на розмір обробки тільки за однією шийкою вала, а решту розмірів отримують по копіру. Застосування чотирьохпозиційного копірного барабана дозволяє швидко замінювати копії і в декілька разів скорочує час налагодження верстата у порівнянні з налагодженням багато-різцевих верстатів.

На гідрокопіювальних верстатах найчастіше застосовують твердо-сплавні різці, що дозволяє збільшити до 100–200 м/хв швидкість різання.

На гідрокопіювальних верстатах забезпечується точність обробки 9 квалітету і складає 0,02–0,05 мм.

Невеликі сили різання при обробці одним різцем і кути різця в плані $\varphi = 90^\circ$ дозволяють обробити довгі заготовки зниженої жорсткості, а також збільшувати подачу.

Завдяки цим перевагам, обробку на гідрокопіювальних верстатах найвигідніше застосовувати в ССВ і навіть в МСВ. Дуже часто їх застосовують і в МВ. У ССВ економічність гідрокопіювальних верстатів звичайно вища ніж багаторізцевих. На цих верстатах переважно оброблюють зовнішні поверхні валів, штоків, валів-шестерень, циліндрів, хоч можна приладнати інструмент для обробки внутрішніх поверхонь.

Токарні багаторізцеві копіювальні напівавтомати з ЧПК наступних моделей 1П717Ф3, 1П752МФ3, 1Б732Ф3, 1740РФ3, 1723Ф3 оснащені 4, 6 (до 12)-позиційними револьверними головками, безступінчастим приводом подач, та працюють в автоматичному режимі.

Такі верстати можуть оснащуватися спеціальними копіювальними барабанами з налаштованими заздалегідь декількома копіями, що дозволяє швидко перенастроюватися на обробку інших деталей. Вони легко можуть вбудовуватися в автоматичні лінії. Це значно підвищує їх продуктивність.

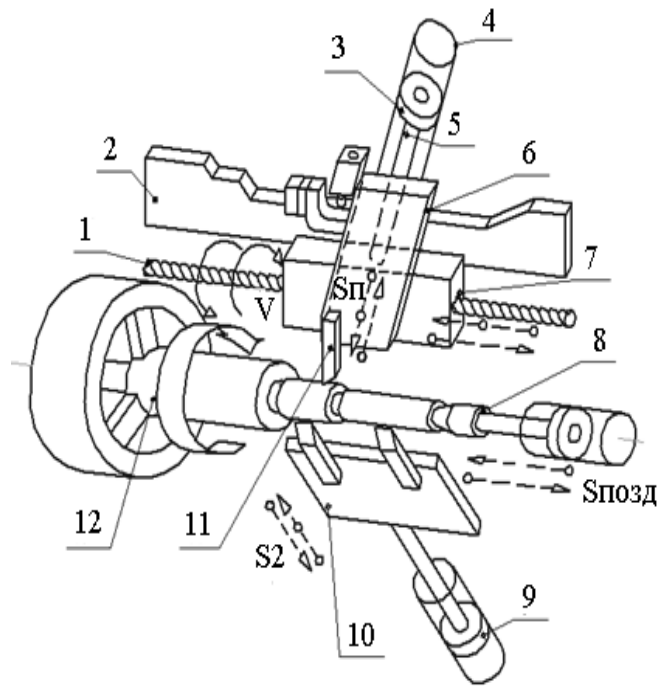


Рис. 3.34. Схема роботи гідрокопіювального напівавтомата

3.2.10. Обробка на токарних автоматах

Автомати – це верстати, в котрих усі робочі і допоміжні рухи автоматизовані. В обов'язки верстатника входить лише періодичне завантаження прутків у верстат або заготовок у магазин і вибірковий контроль розмірів деталей.

Налагоджування токарних автоматів займає 3 – 5 і більше годин, тому їх застосовують тільки в МВ і ВСВ.

Токарні автомати розділяють на 2 типи: одношпиндельні (11...) і багатошпиндельні (12...).

*Обробка на
одношпиндельних токарних
автоматах*

Вони в свою чергу розділяються на такі: револьверні, фасонно-відрізні, поздовжньо-фасонні або поздовжнього точіння.

Токарно-револьверні автомати – це якби автоматизовані токарно-револьверні верстати, що призначені для обробки пруткового матеріалу діаметром до 65 мм (1Д112, 1Д118, 1Б125, 1165). Ці верстати (рис. 3.35) мають револьверну головку (найчастіше 6-ти позиційну), що виконує тільки поздовжню подачу, і 3 – 4 поперечних супорти, кожен з котрих має тільки поперечну подачу від індивідуального кулачка. Оброблюваний калібрований пруток кріпиться в цанговому патроні консольно, величина вильоту $l/d \leq 5$. Точність обробки різцями – до 9-го квалітету, а мірним інструментом з люнетами або «бриючими» різцями – до 7-го квалітету, тобто можна витримати допуск 0,04–0,06 мм на діаметр. Шорсткість поверхонь – R_a 2,5–1,25 мкм.

Фасонно-відрізні одношпиндельні автомати (мод. 1032 та ін.) мають 2 (рідше 4) супорти, що працюють (рис. 3.36, а) тільки з поперечною подачею. Іноді вони можуть мати свердлильний супорт, що працює з осовою поздовжньою подачею. Це автомати вузького призначення і застосовуються для виготовлення дрібних, часто фасонних, деталей діаметром 5–10 мм невеликої довжини. Вони працюють з бухтового матеріалу діаметром ≤ 8 мм.

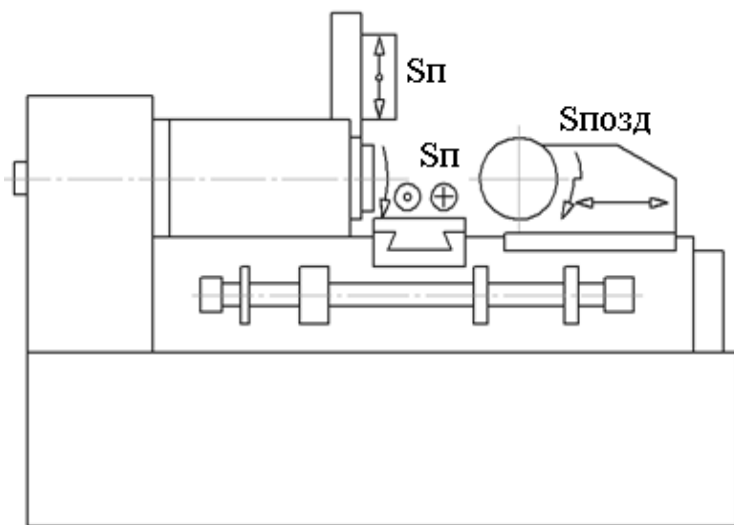


Рис. 3.35. Загальний вид одношпиндельного токарно-револьверного автомата

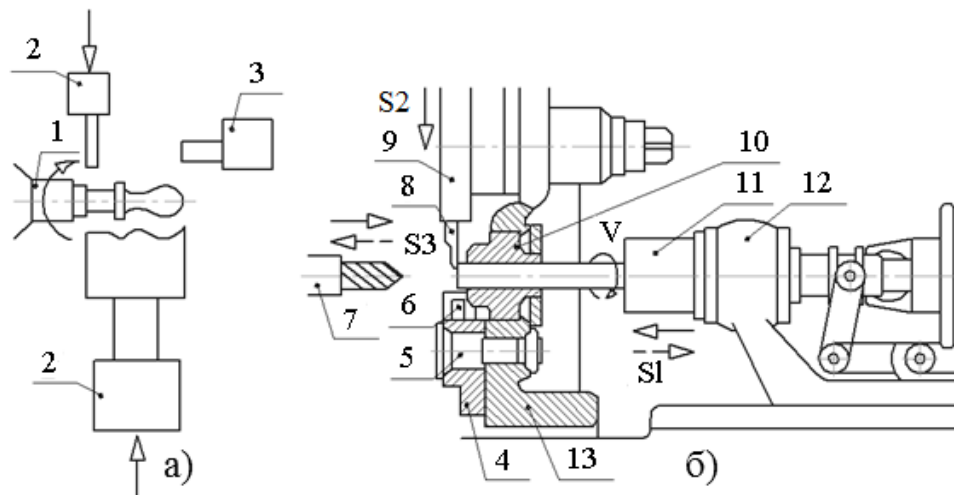


Рис. 3.36. Схема роботи фасонно-відрізного (а) і поздовжньо-фасонного (б) автоматів.

Поздовжньо-фасонні автомати (поздовжнього точіння) застосовуються для виготовлення довгих $l/d \leq 10$ діаметром до 16 мм деталей (1Р103, 1А12П, 1П16 та ін.). Особливістю цих автоматів є те, що поперечні супорти в процесі обробки є нерухомими (рис. 3.36, б), або отримують поперечне переміщення, а пруток обертається і отримує поздовжню подачу. Ці автомати, крім декількох поперечних супортів, мають ще й свердлильну 4-х позиційну револьверну головку, що працює з поздовжньою подачею. Цією головкою можна також нарізувати різьбу. Як заготовки застосовують калібрований пруток не нижче 9-го квалітету точності. При обробці на цих автоматах отримують найвищу точність обробки (до 5-го квалітету) і видержується допуск на діаметр до 0,008 мм і шорсткість поверхонь до R_a 0,32 мкм. Вони застосовуються для виготовлення точних осей, роликів підшипників, пальців, кріпильних деталей.

Обробка на багатошпиндельних токарних автоматах і напівавтоматах.

Вони розділяються на автомати паралельної і послідовної дії.

Автомати паралельної дії являють собою якби декілька (звичайно 4) одночасно працюючих фасонно-відрізних одношпиндельних автоматів. На чотирьох шпинделях цих автоматів виконується паралельне, повне від початку до кінця, виготовлення деталей з 4-х прутків. За один цикл роботи верстата отримують стільки готових деталей, скільки є шпинделів. Це автомати обмежених технологічних можливостей і застосовуються для виготовлення простих деталей.

Автомати і напівавтомати послідовної дії розділяються на горизонтальні і вертикальні.

Горизонтальні автомати (рис. 3.37) мають 4, 6 або 8 шпинделів-позицій (1А225-6, 1А240-4, 1265-6, 1А290-8 та ін.) і дозволяють виготовляти деталі довжиною до 250 мм з прутків діаметром до 90 мм (за спецзаказом – до 125 мм), що затискаються в цанзі. Замість цанг на автоматах можуть установлюватися патрони для обробки штучних заготовок діаметром до 250 мм. Тоді верстат перетворюється у напівавтомат, а в позначення додається літера П (патронний). Наприклад, 1А240П-4. Остання цифра в позначенні означає кількість шпинделів-позицій.

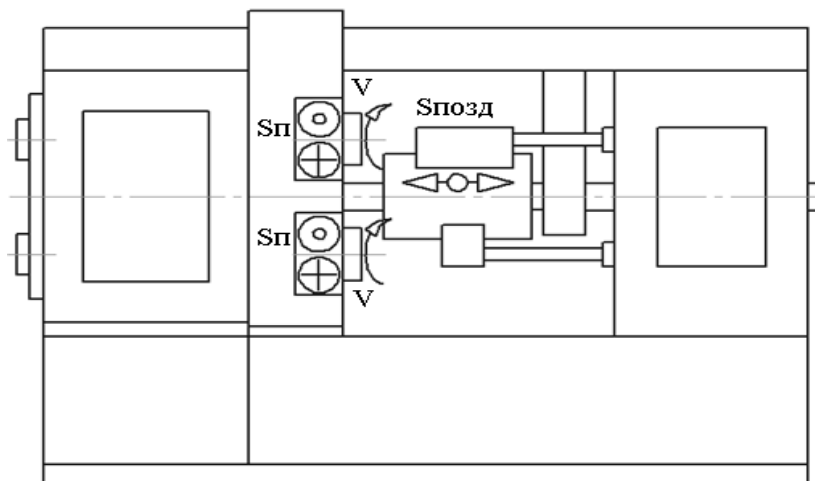


Рис. 3.37. Загальний вид багатошпиндельного горизонтального автомата послідовної дії

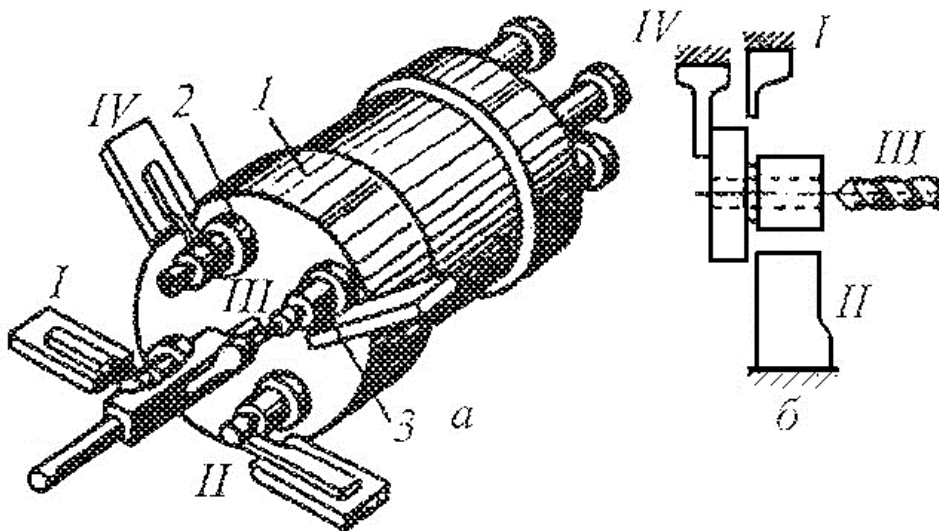


Рис. 3.38. Схема до обробки заготовок на багатошпиндельному горизонтальному автоматі

На цих автоматах на кожній позиції послідовно виконуються різні технологічні переходи по обробці заготовки і за один цикл роботи верстата оброблюється одна деталь.

На головній осі верстата розміщений 4-х позиційний шпиндельний барабан 1, котрий після кожного такту обробки повертається на 90° і шпинделі займають нові позиції (рис. 3.38).

Точність обробки на горизонтальних багатошпиндельних автоматах в межах 11–12 квалітету, а при старанному налагодженні досягає 9-го квалітету.

Вертикальні багатошпиндельні напівавтомати (рис. 3.39) – це автомати послідовної дії. Їх застосовують для обробки штучних заготовок діаметром до 630 мм і висотою до 275 мм типу шестерень, шківів, втулок, гільз, стаканів, дисків тощо. Точність обробки – 9–11-го квалітету, а при застосуванні мірного інструменту – до 7-го. Шорсткість обробки – до R_a 2,5 мкм. Це верстати мод. 1286-6, 1286-8 та ін.

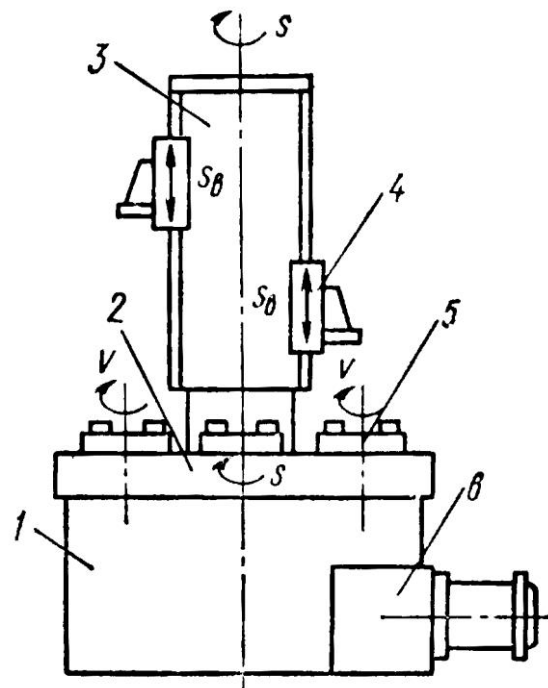


Рис. 3.39. Схема вертикального багатошпиндельного напівавтомата

Це верстати дуже великих технологічних можливостей. Вони бувають 4, 6 і 8-ми шпиндельними. На плиті 1 установлена колона 2, навколо якої може повертатися горизонтальний багатопозиційний стіл – планшайба 3 з вертикальними шпинделями – позиціями 4. Навпроти кожної позиції (за виключенням завантажувальної) є свій один супорт, який здійснює вертикальну, горизонтальну або подачу під кутом. Усі шпинделі можуть мати різну частоту обертання.

На кожному супорті можна установити додатковий пристрій – плиту і налагодити його так, що на одній позиції частина інструментів буде виконувати вертикальну подачу, а частина горизонтальну.

На двох останніх позиціях шпинделі можна зупинити в певному кутовому положенні і за допомогою багатошпиндельної свердлильної головки (в супорті є отвір для її кріплення) просвердлити отвори на передостанній позиції і нарізати різьбу на останній.

Ці верстати дуже широко застосовуються в автотракторній промисловості при масовому виробництві.

На рис 3.40. наведено схему налагодження вертикального шестишпindelного напівавтомата для виготовлення заготовки шестерні.

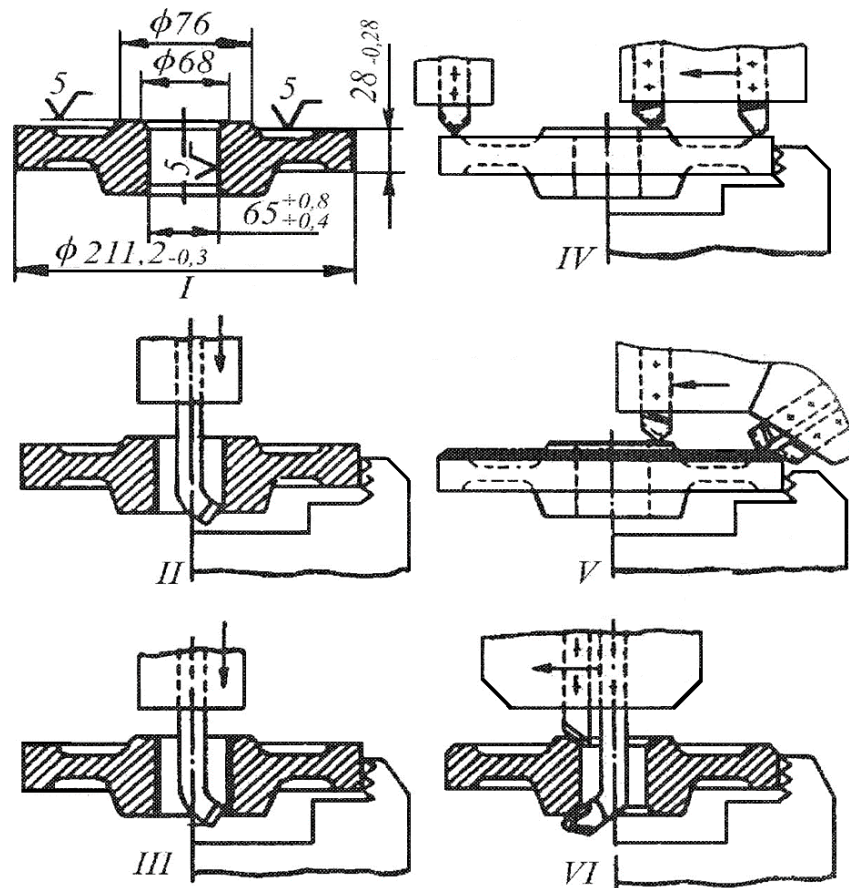


Рис. 3.40. Схема налагодження вертикального шестишпindelного напівавтомата для виготовлення заготовки шестерні

3.2.11. Шляхи підвищення продуктивності праці при обробці на верстатах токарної групи

Єдиних правил немає і все залежить від конкретних умов і досвіду технолога. Доцільно враховувати наступні рекомендації.

- Застосування групових налагоджень, що дозволяє зменшити підготовчо-заклучний час $T_{пз}$ на налагодження і переналагодження верстата.
- Застосування одночасної (паралельної) обробки декількома супортами.
- Застосування багатоінструментних наладок, що включають до 6–8-ми одночасно працюючих інструментів.
- Старанне відпрацювання технологічних процесів.
- Застосування твердосплавних, фасонних і комбінованих інструментів.

- Вирівнювання часу обробки на різних позиціях багатошпиндельних верстатів.
- Застосування двоциклової обробки на вертикальних багатошпиндельних напівавтоматах. Наприклад, при двоцикловій обробці на 8-ми шпиндельному верстаті виділяють дві завантажувальні і по три робочі позиції. На позиціях 1, 3, 5, 7 заготовку установлюють і обробляють з одного боку, а на 2, 4, 6, 8 – з другого. При цьому, після кожного такту роботи верстата, шпинделі зміщуються на 2 позиції.

3.2.12. Шляхи підвищення точності обробки на токарних верстатах

Чорнову і чистову обробку виконують на різних позиціях.

- Старанно допрацьовують техпроцес і положення інструмента так, щоб згинальні сили різання взаємно зрівноважувалися, а похибка позиціювання в найменшій мірі впливала на точність обробки.
- Концентричні поверхні необхідно оброблювати на одній позиції, або при одному установі.
- Чистові переходи виконувати «плаваючим» мірним інструментом (розвертками, «бриючими» різцями на оправках з люнетом, що самовиставляються тощо).
- При фасонній обробці поперечним супортом передбачувати 7–10 зачищаючих обертів заготовки без поперечної подачі.
- Застосовувати рясну подачу МОР.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Як здійснюється обробка на токарно-гвинторізних верстатах?
2. Як здійснюється обробка заготовок в центрах?
3. Як виконують установку заготовок в патронах?
4. Як виконують установку заготовок на оправках?
5. Назвіть інші способи установки заготовок.
6. Які вихідні дані потрібні для розрахунку режимів різання при точінні?
7. Які особливості обробки деталей на токарно-карусельних верстатах?
8. Які особливості обробки на токарно-револьверних верстатах?
9. Як здійснюється обробка на токарних багаторізцевих напівавтоматах?
10. Які особливості та послідовність визначення режимів різання на багаторізцевих верстатах?
11. Які особливості обробки на гідрокопіювальних напівавтоматах?
12. Назвіть типи токарних автоматів і їх особливості.
13. Шляхи підвищення продуктивності та точності обробки на верстатах токарної групи.

3.3. Обробка на свердильних верстатах

3.3.1. Класифікація верстатів

Верстати свердильної групи включають такі типи:

- 21... – вертикально-свердильні верстати,
- 22... – одношпиндельні напівавтомати,
- 23... – багатошпиндельні напівавтомати,
- 24... – координатно-розточувальні,
- 25... – радіально-свердильні верстати,
- 26... – розточувальні верстати,
- 27... – алмазно-розточувальні верстати,
- 28... – горизонтально-свердильні і центрувальні,
- 29... – різні свердильні верстати.

3.3.2. Обробка на вертикально- і радіально-свердильних верстатах

У загальній трудомісткості механічної обробки свердильні роботи займають від 7 % в ОВ до 20 % у МВ. Найбільше розповсюджені вертикально- і радіально-свердильні верстати.

Вертикально-свердильні верстати можуть бути настільними (для отворів діаметром 0,2–12 мм) і стаціонарними (діаметром 10–75 мм). Наприклад, 2Н118, 2Н125, 2Н135, 2Н150, 2170.

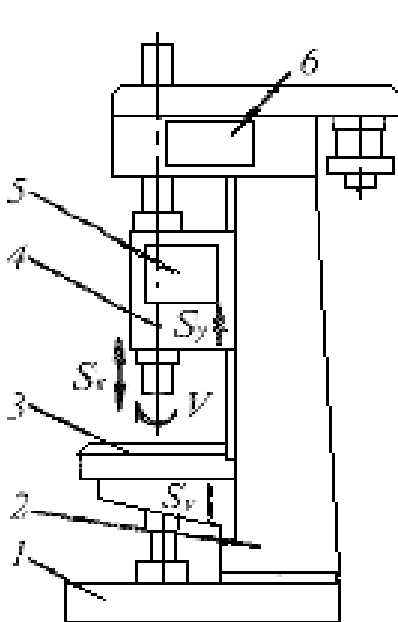


Рис. 3.41. Загальний вигляд вертикально-свердильного верстата

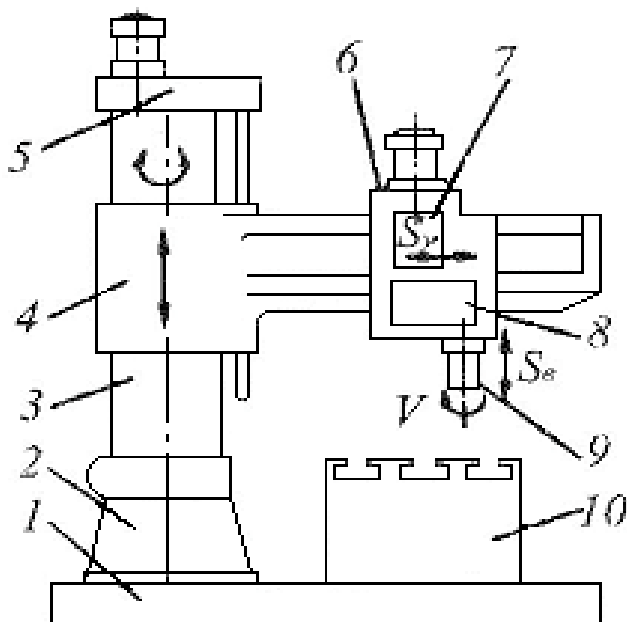


Рис. 3.42. Загальний вигляд радіально-свердильного верстата

Ці верстати мають (рис. 3.41): плиту 1, колону 2, в направляючих якої установлений стіл 3 і шпиндельна бабка 4. Головний робочий рух – обертання шпинделя з інструментом, м/хв, рух подачі – вертикальна подача шпинделя, мм/об. Крім того, є два установочні рухи – вертикальне переміщення стола і шпиндельної бабки. Звичайно, вертикально-свердлильні верстати застосовують для обробки одного отвору в середній за розмірами деталі, або декількох отворів в малій деталі, коли можна пересувати заготовку на столі. Ці верстати найбільш розповсюджені після токарних і складають біля 20 % усього верстатного парку.

Радіально-свердлильні верстати відрізняються від вертикально-свердлильних підвищеною кількістю ступенів вільності шпинделя. Ці верстати (рис. 3.42) мають плиту 1, на якій установлена колона 3. На колоні установлена консоль 4, в направляючих котрої установлена шпиндельна бабка 6 з шпинделем 9. Крім обертання і вертикальної подачі шпинделя (робочі рухи) вони мають такі установочні рухи: поворот консолі навколо колони, вертикальне переміщення консолі уздовж колони, переміщення шпиндельної бабки уздовж консолі.

Завдяки цим рухам шпиндель верстата може установлюватися вертикально в будь-якому місці робочої зони верстата. Радіально-свердлильні верстати (2Н53, 2Н55, 2Ш57 та ін.) застосовують в ОВ та СВ для обробки середніх і великих заготовок з великою кількістю отворів діаметром 10–80 мм.

Очевидно, що важку заготовку незручно переміщувати на столі вертикально-свердлильного верстата, тому застосовують радіально-свердлильний.

Радіально-свердлильні верстати – це верстати з заниженою жорсткістю. У МВ їх не застосовують, а обробку виконують на багатошпиндельних агрегатно-свердлильних верстатах.

Свердлильні верстати з ЧПК оснащуються позиційними системами керування, але при виконанні фрезерних робіт все частіше застосовуються комбіновані системи: позиційні і прямокутні. Моделі верстатів: 2Р135Ф2, 2135ПМФ2, 2306ПФ2, 21104П7Ф4 та ін..

3.3.3. Застосовуваний інструмент та його кріплення

При обробці отворів на свердлильних верстатах широко застосовують свердла, зенкери, розвертки, конічні і торцеві зенкери тощо (рис. 3.43). Це осьові інструменти, що працюють з подачею, паралельною до його осі. Їх виготовляють з циліндричним хвостовиком при діаметрі до 10 мм включно і з конічним хвостовиком з конусом Морзе при діаметрі понад 10 мм.

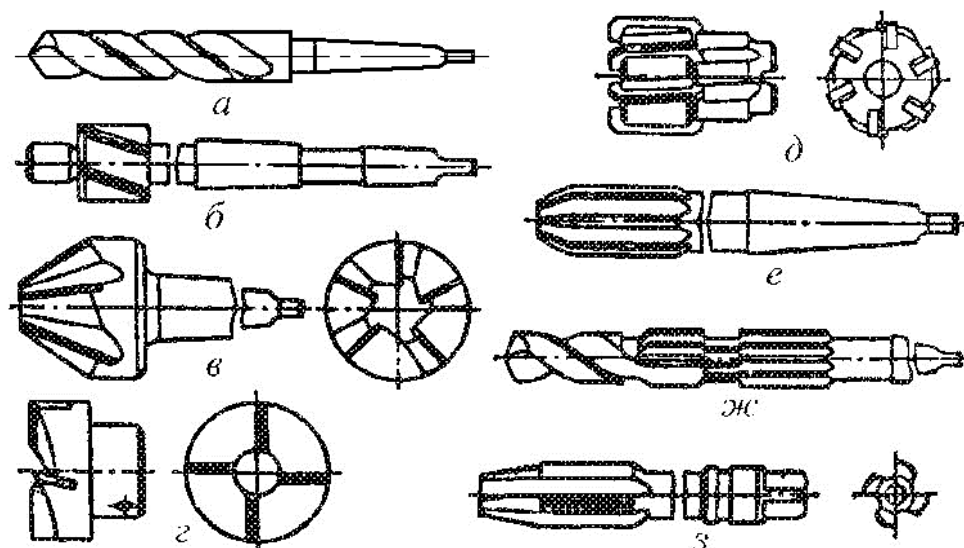


Рис. 3.43. Інструменти для обробки отворів на свердлильних верстатах

Інструменти з циліндричним хвостовиком закріплюють в інструментальних свердлильних патронах (рис. 3.44, в), а з конічним хвостовиком в конічному отворі шпинделя верстата безпосередньо (рис. 3.44, а), або, якщо номери конусів не співпадають, – через перехідні втулки (3.44, б). Інструмент у конічний отвір вставляється вручну з силою, а даліше дотискається осьовою силою P_0 .

На кінці конічного хвостовика є зрізана лапка, яка входить у поперечний отвір шпинделя і не дозволяє інструментові повернутися при передачі $M_{кр}$. Для вибивання інструмента у поперечний отвір вставляють клин.

Якщо потрібно часто міняти інструменти (свердління отворів різних діаметрів, обробка отворів різним інструментом), застосовують швидкозмінні патрони різних конструкцій.

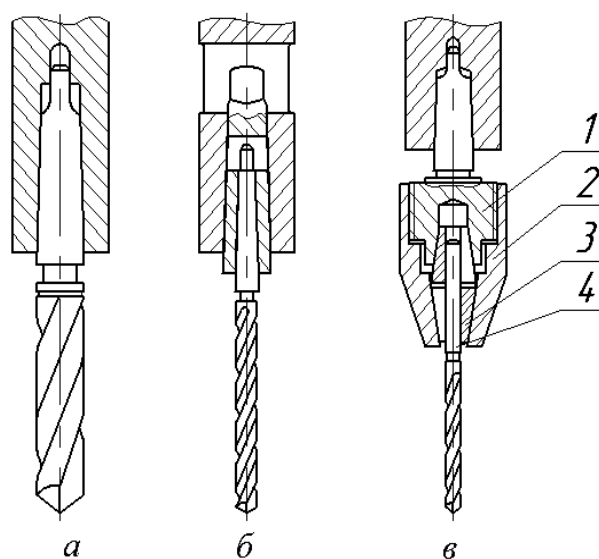


Рис. 3.44. Схеми закріплення інструментів у шпинделях свердлильних верстатів

3.3.4. Види виконуваних робіт і точність обробки

На свердлильних верстатах виконують різні роботи по обробці отворів.

Свердління отворів у суцільному матеріалі (рис. 3.45, а).

Розсвердлювання отворів (рис. 3.45, б). Звичайно в суцільному матеріалі свердлять отвори діаметром до 30–35 мм, а отвори більшого діаметра рекомендується свердлити і розсвердлювати. При цьому $d \approx 0,6D$.

Глибина різання при розсвердлюванні $h_p = \frac{D-d}{2}$, а при свердлінні

$$h_c = \frac{D-0}{2} = \frac{D}{2}.$$

Як свердління, так і розсвердлювання дає можливість отримати отвори 11–12 квалітету точності з шорсткістю поверхонь R_a 20 мкм.

Зенкерування. Зенкер подібний до свердла, але має більше різальних кромок (рис. 3.45, в). Його застосовують для обробки попередньо отриманих отворів. Зенкерування може бути проміжним і остаточним видом обробки перед операцією розгортання, коли пред'являються підвищені вимоги до точності і якості поверхні. Велика перевага зенкера перед свердлом у тому, що він не має перемички, тому при зенкеруванні осьова сила подачі значно менша, ніж при свердлінні. Крім того, зенкер більш жорсткий. В результаті цього подача на один оберт при зенкеруванні значно більша ніж при свердлінні.

При зенкеруванні литих або прошитих отворів отримують їх після зенкерування 11–12 квалітету точності з шорсткістю R_a 20 мкм. Чистове зенкерування забезпечує 9–10 квалітет точності з R_a 5 мкм, а при зенкеруванні просвердлених отворів отримують 10–11 квалітет з R_a 10 мкм.

Розвертування отворів. Розвертка (рис. 3.45, г) – це інструмент з великою кількістю прямих зубів і відносно довгою різальною частиною, що застосовується для чистової обробки отворів. Звичайно розгортання застосовують після свердління і зенкерування або після розточування. Але розгортання також може бути проміжним видом обробки при отриманні отворів підвищеної точності, коли остаточну обробку проводять хонінгуванням або поліруванням. При одноразовому чистовому розгортанні отримують отвори 9-го квалітету точності з шорсткістю поверхні R_a 2,5 мкм. При попередньому і наступному чистовому розгортанні отримують отвори 7-го квалітету точності, шорсткість яких дорівнює R_a 1,25 мкм. Свердлінням і розгортанням малих отворів діаметром 8–18 мм зразу отримують 9-й квалітет точності, а твори діаметром 2–12 мм – 7-й квалітет. Припуск під попереднє розгортання складає 0,2–0,5 мм на діаметр, а під чистове – 0,08–0,2 мм.

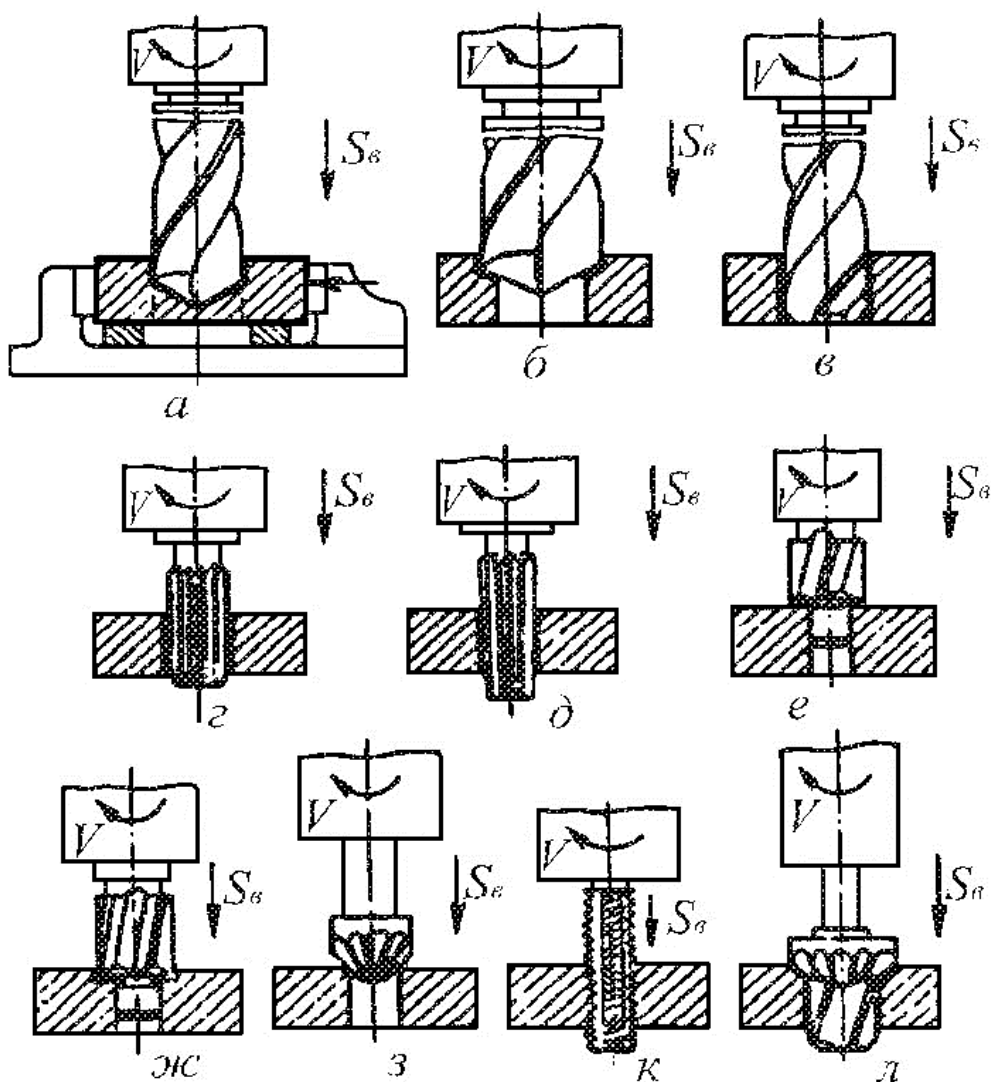


Рис. 3.45. Схеми обробки заготовок на свердлильних верстатах

Точні конічні отвори великої конусності отримують за допомогою чорнової, напівчистої і чистої конічних розверток. Чорнова конічна розвертка має різальні зуби, розміщені по гвинтовій лінії, і з просвердленого циліндричного отвору отримує ступінчастий конічний. Вона зрізає дрібні стружки. Напівчистова розвертка така ж, але має дрібніші зуби. Чистова конічна розвертка (рис. 3.45, д) має суцільні прямі зуби і знімає стружку одночасно по всій довжині отвору, тобто дуже широку. Якщо обробляються отвори малої конусності, то можна зразу застосовувати чистову конічну розвертку.

На свердлильних верстатах можна також підрізувати торці бобишок (рис. 3.45, е), зенкерувати заглибини (рис. 3.45, ж) під головки гвинтів, знімати фаски зенківками (рис. 3.45, з) або свердлом більшого

діаметра, нарізувати різьби мітчиками (рис. 3.45, к), оброблювати отвори комбінованими інструментами типу свердло-зенкер, ступінчастий зенкер (рис. 3.45, л) тощо.

Свердла і зенкери можуть змінювати положення осей отворів, тому вони кріпляться в шпинделі жорстко і в процесі роботи направляються кондукторними втулками. *Розвертки*, як правило, не змінюють положення осей отвору, тому їх кріплення «плаваюче» і в процесі роботи вони самовиставляються в оброблюваному отворі і направляються ним без застосування кондукторних втулок.

Технологічність деталей. При конструюванні технологічних деталей з отворами, які будуть оброблюватись на свердлильних та розточувальних верстатах, необхідно урахувати особливості обробки на цих верстатах.

На рис. 3.46 показані приклади поліпшення технологічності таких деталей:

а – при обробці глухого отвору свердлінням з наступним розвертанням, необхідно в кінці отвору передбачити необроблюване місце для забірного конуса розвертки;

б – відстань від вертикальної стінки до свердла повинна бути не меншою від перехідного радіуса R ;

в – вхідна поверхня торця отвору повинна бути перпендикулярною до осі отвору;

г – недопустимо при конструюванні глухих отворів малого діаметра передбачати внутрішні кільцеві виточки;

д – осі усіх отворів повинні бути перпендикулярними до базової площини;

е – небажаним є пересікання поверхнею отвору, який свердлиться, іншої циліндричної поверхні; глухі отвори краще замінити наскрізними;

ж – кільцеві виточки під шайби іноді доцільно замінити площадками, які оброблюються на фрезерних верстатах;

з – недопустимо призначати високу точність обробки і низьку шорсткість поверхні в місцях важкодоступних для різального інструмента;

и – при обробці на розточувальних верстатах діаметри співвісних отворів повинні послідовно зменшуватись, що дозволяє обробити їх з одного установу;

к – іноді доцільно замість співвісних отворів однакового діаметра застосувати отвори різних діаметрів, що поліпшує доступ інструмента;

л – зміна конструкції литої заготовки дозволяє позбутись отвору важкодоступного для різального і мірального інструмента.

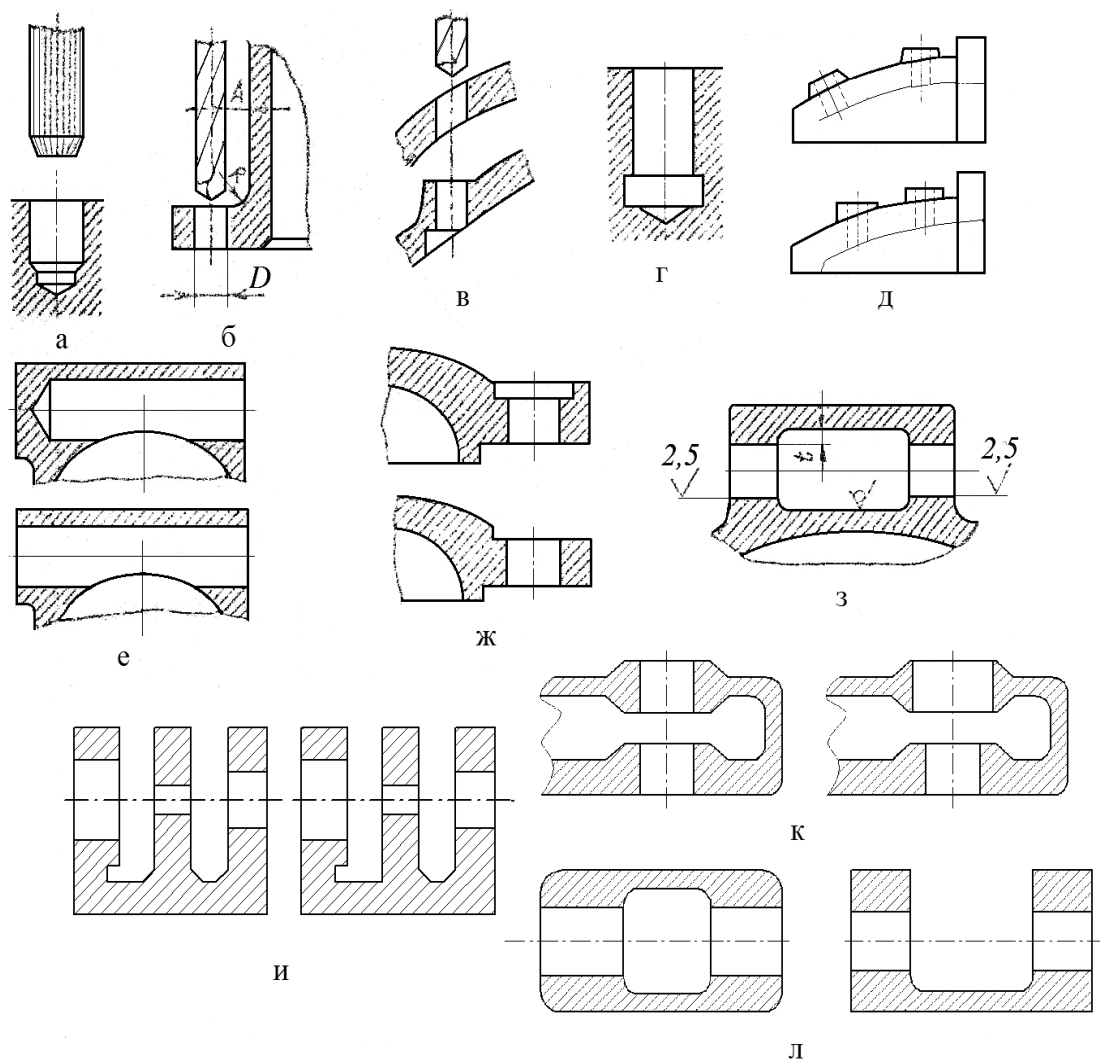


Рис. 3.46. Приклади поліпшення технологічності деталей оброблюваних на свердлильних та розточувальних верстатах

3.3.5. Установка і кріплення заготовок

При обробці на вертикально-свердлильних верстатах заготовки установлюють різними способами.

Установка на столі верстата (рис. 3.47, а) з кріпленням прихватами, болтами, пластинами тощо. Застосовується в ОВ та МСВ при свердлінні за розміткою отворів, перпендикулярних до базової поверхні.

Установка на косинці (рис. 3.47, б) застосовується в ОВ і МСВ при свердлінні за розміткою отворів, паралельних до базової поверхні.

Установка на поворотному столі, коли необхідно просвердлити отвір під кутом до базової поверхні (рис. 3.47, в).

Установка в призмі (рис. 3.47, г), при свердлінні отворів у заготовках з циліндричною базовою поверхнею.

Установка заготовок у машинних лещатах, при свердлінні отворів за розміткою.

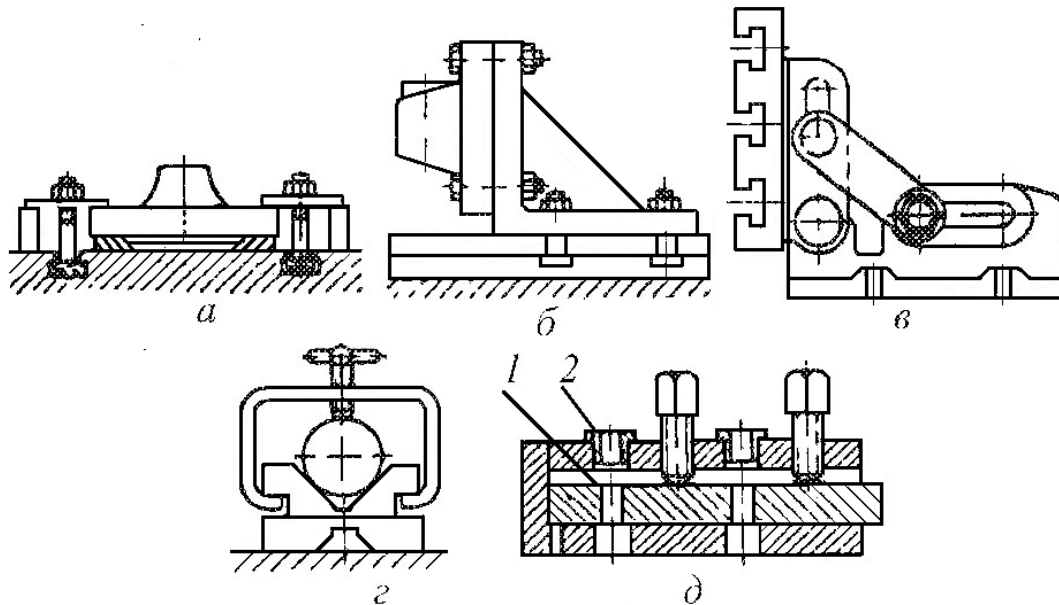


Рис. 3.47. Пристрої для установки заготовок на свердильних верстатах

Установка заготовок у *трёхкулачковому патроні*, прикріпленому до стола верстата. Застосовується при свердлінні отворів, паралельних до осі круглих або шестигранних заготовок.

У ССВ і МВ заготовки установлюють і закріплюють у *кондукторах* (рис. 3.47, д), тобто спеціальних пристроях для обробки на свердильних верстатах.

На радіально-свердильних верстатах заготовки, крім указаних вище способів, можуть також установлюватися в поворотних пристроях і кондукторах.

3.3.6. Методи свердління

Застосовують 3 методи свердління отворів.

Свердління за розміткою виконується на вертикально- і радіально-свердильних верстатах в ОВ і МСВ, а також при обробці великих заготовок. Для цього розмічають положення осей отворів і їх центри накернують керном. Після цього засвердлюють отвір свердлом малого діаметра і розсвердлюють до необхідного, що дозволяє підвищити точність міжцентрових відстаней. Цей метод відрізняється простотою, непотрібні спеціальні пристрої. Його недоліки: низька точність міжцентрових відстаней, не менше 0,2–0,3 мм; великі затрати допоміжного часу на

розмічування, накернування і установку заготовок, висока кваліфікація слюсарів.

Для підвищення точності і продуктивності іноді застосовують свердління заготовок на координатних столах, які за допомогою двох мікрометричних гвинтів і відлікових ноніусів можуть точно переміщуватися в двох взаємно перпендикулярних напрямках. При цьому розмічають положення тільки одного базового отвору.

Сумісне свердління. Через великі похибки міжцентрових відстаней при свердлінні за розміткою, отвори спряжуваних деталей при складанні часто не співпадають. Для усунення цього недоліку застосовують сумісне свердління заготовок, котрі будуть разом складатися. При цьому отвори в одній заготовці, наприклад, в кришці, свердлять за розміткою, накладають її на другу заготовку, і через отвори в першій просвердлюють отвори в другій. Цей спосіб забезпечує збіг отворів однієї пари разом просвердлених деталей, але не виконується вимога щодо взаємозамінності деталей різних пар.

Свердління в кондукторах. Кондуктор – це спеціальний пристрій, що забезпечує точне базування заготовки і її надійне кріплення, а також направлення інструмента при обробці. Наприклад, нехай в заготовках необхідно просвердлити отвори з заданими координатами. Ми можемо в кондукторній (накладній) плиті пристрою на координатно-розточувальному верстаті з високою точністю до 0,01 мм виконати ці отвори, накласти плиту на заготовку деталі і через отвори в плиті просвердлити отвори в заготовці. Щоб отвори в плиті менше зношувалися, в них запресовують або установлюють спеціальні загартовані втулки. Крім плити з втулками, кондуктор має установочні, затискні та інші елементи пристроїв.

3.3.7. Типи кондукторних втулок

Кондукторні втулки розділяються на постійні, змінні і швидкозмінні.

Постійні втулки (рис. 3.48, а) можуть бути без бурта і з буртом. Найпростіша втулка – без бурта. Вона запресовується в корпус плити за посадкою $H7/n6$ і, щоб не виникали великі контактні напруги і свердла не ламались, на вході і на виході свердла з отвору передбачені радіуси закруглення гострих кромek. Іноді, для спрощення виготовлення, на виході свердла в отворі втулки знімають фаску. Для безпосереднього направлення свердел діаметром 4 – 8 мм застосовують постійні втулки малого діаметра, великого діаметра – для розміщення в них змінних втулок.

Швидкозмінні втулки. У них вид у розрізі такий же, як у змінних, але вид зверху інший (рис 3.48, в).

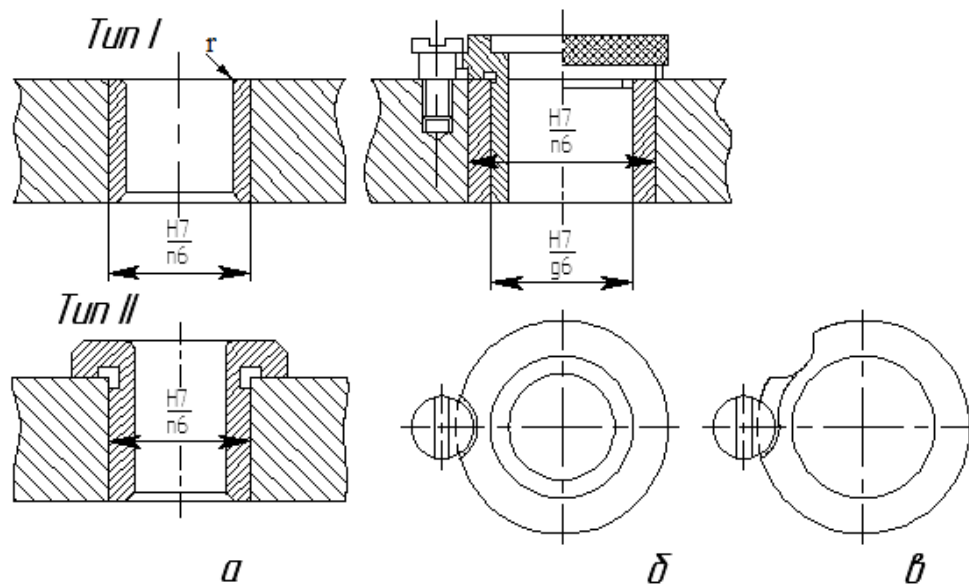


Рис. 3.48. Типи кондукторних втулок

Ці втулки, як і змінні, встановлюються в постійні втулки за такими ж посадками. Але їх застосовують при обробці отвору підряд декількома інструментами різних діаметрів. Наприклад, свердління, зенкерування чорнове, зенкерування чистове і розгортання (виконується без втулки). Після обробки отвору одним інструментом, швидко міняють втулку з насічкою і за допомогою швидкозмінного патрона замінюють інструмент.

Внутрішній отвір (під свердло, зенкер) будь-якої втулки виконується за ходовою посадкою (F7) в системі вала, тобто за основу приймають діаметр інструмента.

Усі точні посадки виконують в переважній більшості за 6–7 квалітетами.

Довжина кондукторної втулки приймається в межах до 2,5 діаметрів інструмента.

Віддаль від нижнього торця втулки до заготовки складає $(0,25-0,5) d$, щоб був зазор для виходу стружки.

Для обробки крихких матеріалів цей зазор складає $0,1 d$.

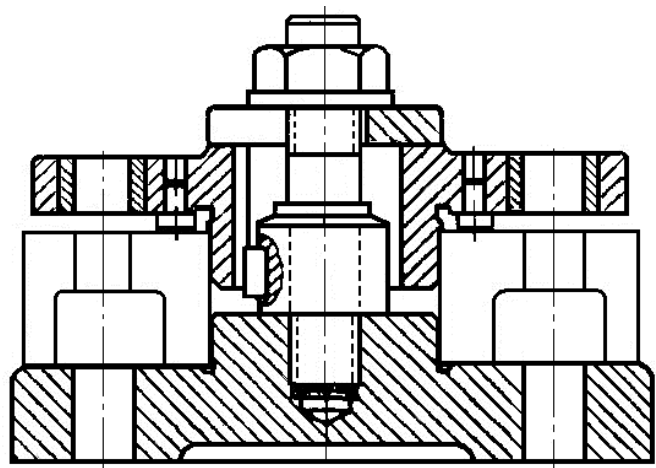


Рис. 3.49. Накладний кондуктор з підставкою

Якщо потрібно просвердлити отвори в глибині – застосовують ступінчасті втулки; два близько розміщені отвори – спеціальні втулки; для свердління отворів на нахилених поверхнях – скошені втулки.

3.3.8. Типи кондукторних пристроїв

Умовно кондуктори можна розділити на накладні, стаціонарні, рухомі та поворотні.

Накладні – це кондуктори у вигляді окремої кондукторної плити або рами, що базується і кріпиться на заготовці, або кондуктори з накладною плитою (рис. 3.49). У даному випадку плита центрується за точним отвором в заготовці. Для швидкого знімання заготовки, плита кріпиться гайкою через швидкозмінну шайбу.

Стаціонарні кондуктори застосовують для свердління отворів з одного боку заготовки. Їх нерухомо закріплюють на столах верстатів. Стаціонарні кондуктори застосовують для свердління одного отвору на вертикально-свердильних, або декількох отворів - на радіально-свердильних верстатах.

Поворотні кондуктори призначені для свердління отворів з різних боків заготовки. Вони можуть повертатися на універсальних поворотних

столах з ділильними і фіксуючими механізмами, або кантуватися на столах верстатів (рис. 3.50, а, б) чи спеціальних підставках (рис. 3.50, в).

Рухомі кондуктори можуть пересуватися вручну на столі і їх застосовують для свердління отворів діаметром до 10 мм у невеликих заготовках на вертикально-свердильних верстатах.

Найчастіше кондуктори застосовують у СВ. Конструкція кондуктора і рівень його механізації залежить від типу виробництва.

Достоїнства обробки в кондукторах: малі витрати часу на установку, кріплення і обробку заготовок; висока точність міжцентрових відстаней отворів (звичайно $\pm 0,1$ мм, іноді $\pm 0,05$ мм).

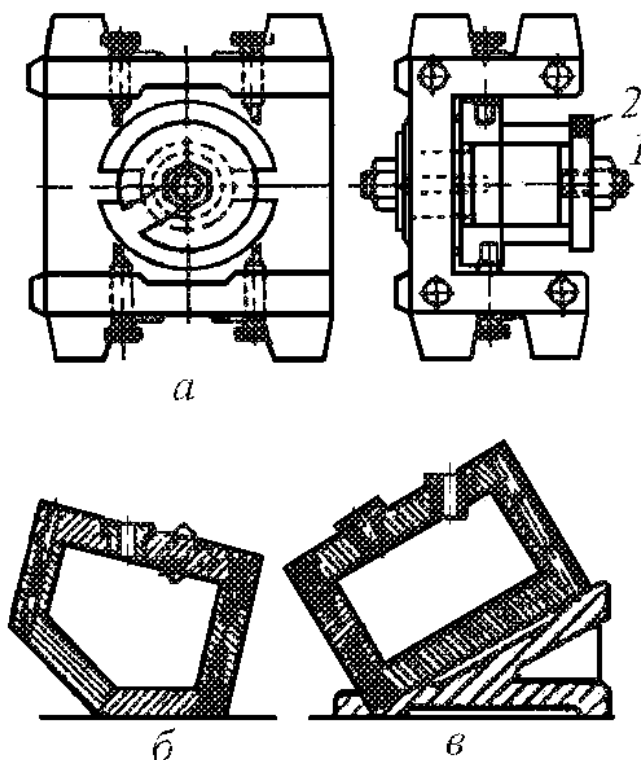


Рис. 3.50. Поворотні кондуктори

Недоліки: висока вартість кондукторів, що не дозволяє їх застосовувати в ОБ і МСВ; великі затрати часу на проектування і виготовлення.

У МСВ іноді застосовують кондуктори, що зібрані з комплектів універсальних збірних пристроїв (УЗП). УЗП відносяться до числа пристосувань цільового призначення, що агрегатуються та збираються при необхідності з заздалегідь виготовлених стандартних деталей і складальних одиниць. З комплекту УЗП можна зібрати кондуктор або інший пристрій, виконати роботу і розібрати його. Елементи УЗП – багаторазового використання.

3.3.9. Розрахунок режимів різання при свердлінні

Розрахунок режимів різання при свердлінні, зенкеруванні і розгортанні виконують приблизно за однаковою методикою, міняються у формулах тільки коефіцієнти і показники степеня. Режими різання визначаються у такій послідовності.

Підбирають матеріал різальної частини свердла (за довідниками). Переважно, у більшості випадків, застосовують свердла з швидкорізальної сталі Р6М5, Р6М3. Твердосплавні свердла з ВК8 та Т15К6 застосовують рідко (тільки коронка з твердого сплаву, а свердло з інструментальної сталі), тому що вони часто викришуються. Ширше застосовують твердосплавні зенкери і розвертки.

Підбирають за довідником форму заточки різальної частини свердла (наприклад, нормальна, подвійна, нормальна з підточуванням перемички та ін.).

Визначають режими різання у такій послідовності: глибина різання, подача, швидкість різання.

При свердлінні глибина різання $h = D/2$, де D – діаметр свердла, мм.

Максимальна подача може обмежуватися:

- вимогами до точності і шорсткості поверхні обробленого отвору (за довідниками);
- міцністю свердла або пластинки твердого сплаву (наприклад, $[S_0]_{міцн.св} = C_S D^{0,6}$ мм/об, де C_S – коефіцієнт, D – діаметр свердла з швидкорізальної сталі);
- міцністю механізму подачі свердлильного верстата. У довідниках наведені рекомендації щодо розрахунку подачі S_0 з урахуванням указаних вище вимог.

У залежності від глибини свердління, на величину найменшої з отриманих подач вводиться поправочний коефіцієнт.

Глибина отвору	До 3D	5D	7D	10D
Коефіцієнт K_S	1,0	0,9	0,8	0,75.

Після цього призначають найближчу фактичну подачу з тих, які є на верстаті.

Швидкість різання, яку допускає свердло, визначають за емпіричною залежністю

$$V_C = \frac{C_V D^{q_V}}{T^m h^{x_V} S_0^{y_V}} K_V, \text{ м/хв},$$

де C_V – коефіцієнт пропорційності, що залежить від оброблюваного матеріалу;

T – стійкість свердла, хв;

D – діаметр свердла, мм;

h – глибина різання, мм;

S_0 – фактична подача, мм/об;

q_V, m, x_V, y_V – табличні показники степеня;

K_V – поправочний коефіцієнт, що враховує форму заточки свердла, глибину свердління, матеріал інструмента, стан оброблюваної поверхні, застосування МОР.

З цієї залежності виходить, що зі збільшенням D швидкість свердління збільшується, що пояснюється кращим відведенням тепла з зони різання масивнішим свердлом, ліпшим попаданням МОР в зону різання.

Стійкість свердла призначають за довідником і вона змінюється для свердел діаметром 5-50 мм, відповідно, в межах від 15 до 90 хв.

Знаючи V_C визначають розрахункову частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 V_C}{\pi D}, \text{ хв}^{-1} \text{ і за верстатом підбирають найближчу } n_\Phi.$$

Після цього необхідно перевірити верстат за *потужністю*

$$N_e = \frac{M_C n_\Phi}{9560}, \text{ кВт},$$

де N_e – ефективна потужність на шпинделі верстата, яка складає 0,8 від потужності головного електродвигуна;

n_Φ – фактична частота обертання шпинделя;

M_C – крутний момент свердління, який визначають за формулою:

$$M_C = C_M D^{q_M} h^{x_M} S_0^{y_M} K_M, \text{ Нм},$$

де K_M – коефіцієнт, що залежить від стану оброблюваного матеріалу, форми заточки свердла, його затушення.

Якщо потужність верстата недостатня, то необхідно в першу чергу знизити швидкість різання, а не подачу. При обробці на сучасних верстатах з ЧПК, на яких передбачено безступеневе регулювання n та S_o , призначають їх розрахункові значення.

3.3.10. Свердління отворів на агрегатних верстатах

Агрегатні свердлильні верстати застосовують у масовому, іноді у великосерійному, виробництві. На агрегатних верстатах можна виконувати наступні види робіт: свердління, зенкування, розточування, фрезерування, нарізування внутрішніх і зовнішніх різьб, деякі види токарної обробки. На агрегатних верстатах можна виконувати наступні види робіт: свердління, зенкування, розточування, фрезерування, нарізування внутрішніх і зовнішніх різьб, деякі види токарної обробки. Це спеціальні верстати, що складаються в основному з нормалізованих вузлів (рис. 3.51): станин 1, силових головок 2, шпиндельних коробок 3, столів 5, кронштейнів, колон, стояків, гідростанцій тощо. На них установлюють заготовки 4.

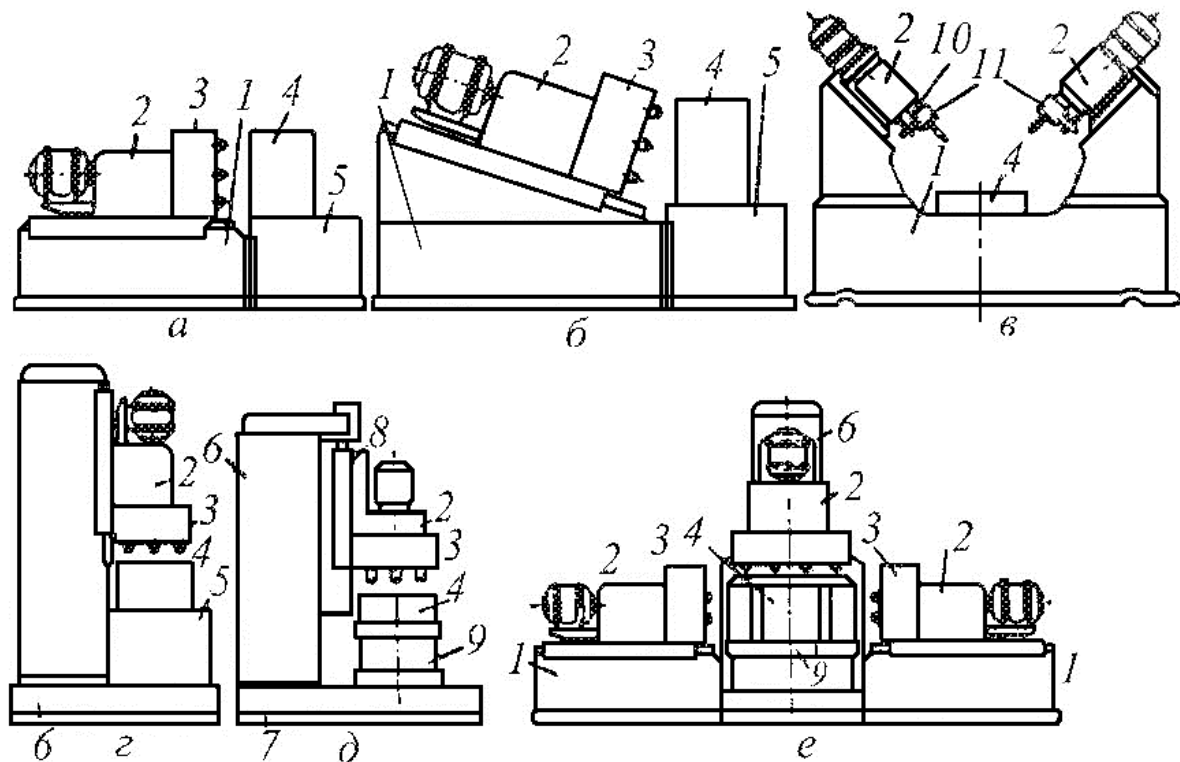


Рис. 3.51. Схеми компоновок агрегатних свердлильних верстатів

Агрегатні верстати можуть включати від 10–15 до 100–150 різальних інструментів і на них можна виконувати обробку заготовки одночасно з чотирьох боків, залишаючи тільки одну площадку для базування і місце для завантаження заготовки. Вони можуть бути одно- і багатопозиційними, з прямокутним або круглим столом, шпинделі головок можуть бути горизонтальними, вертикальними або нахиленими під кутом. Усі основні елементи цих верстатів нормалізовані, хоч можуть виготовлятися і спеціальні додаткові деталі і вузли. На агрегатних верстатах отвори теж свердлять через кондукторні втулки. Агрегатні верстати часто вмонтовують в автоматичні лінії.

3.3.11. Способи підвищення продуктивності при свердлінні отворів

Підвищення продуктивності праці при обробці отворів забезпечується застосуванням:

- швидкодіючих пристроїв з пневмо-, гідро-, ексцентриковими та іншими затискачами;
- багатшпиндельних свердлильних головок або агрегатних свердлильних верстатів у МВ та ВСВ;
- багатолезового комбінованого інструмента типу свердло-зенкер, ступінчастий зенкер у ВСВ та МВ;
- УЗП і універсальних поворотних пристроїв у МСВ;
- координатних столів в ОВ та МСВ;
- твердосплавного інструмента;
- глибокого охолодження інструмента рідиною під тиском.

3.3.12. Свердління і розточування глибоких отворів

Глибокими називають отвори, глибина котрих у 5 і більше разів більша від діаметра. Бувають отвори глибиною до 100 діаметрів. Взагалі, якщо промисловість не випускає труби, які можна використати як заготовки, треба при конструюванні машин уникати глибоких отворів, як таких, що трудно виконуються. Глибокі отвори можна оброблювати такими способами.

Свердління спіральними свердлами. Це звичайні свердла, але для доброго видалення стружки у них кут нахилу гвинтової лінії ϕ знаходиться в межах $45\text{--}60^\circ$, коли у звичайних свердел цей кут не перевищує 30° . Для свердління глибоких отворів глибиною до $10\ d$ використовують спіральні свердла з внутрішнім підводом МОР під великим тиском, котра виносить стружку. Такі свердла (рис. 3.52)

звичайно виготовляються з гнутого профілю і вони мають знижену жорсткість.

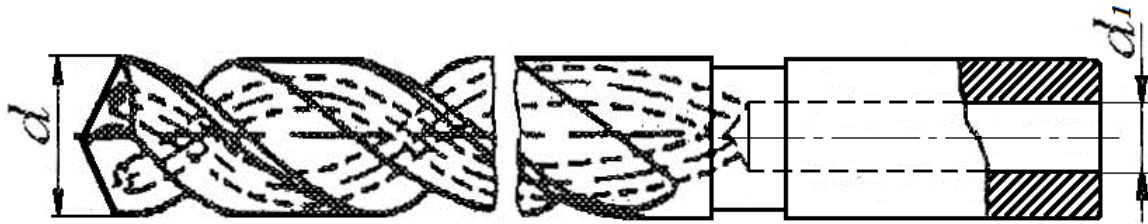


Рис. 3.52. Свердло з внутрішнім підводом МОР

Для свердління отворів глибиною до $15 d$ застосовують шнекові свердла з кутом нахилу стрічок до 60° . Це такі ж спіральні свердла, але форма канавок інша і в осьовому перерізі свердло нагадує шнек. При свердлінні спіральними свердлами отворів, у яких $l/d \geq 10-15$, на свердлильних верстатах має місце відведення свердла, в результаті чого отвір виходить не прямолінійним.

Відведення свердла викликається такими причинами:

- недостатня жорсткість довгого свердла;
- наявність викривлення свердла в результаті поздовжнього вигину;
- несиметричним заточенням різальних кромek свердла;
- у результаті зазорів у підшипниках шпинделя.

Для зменшення відведення спіральних свердел застосовують такі способи:

- свердління з малими подачами при старанній заточці різальних кромek свердла;
- свердління з направленням свердел за допомогою кондукторних втулок;
- свердління отворів у виробі, що обертається (при цьому має місце самоцентрування свердла і його відведення зменшується).

Для свердління отворів глибиною понад $15 d$ застосовують спеціальні свердла для глибокого свердління. Спеціальні свердла, або їх головки, виготовляють з швидкорізальної сталі або з твердосплавними пластинами, а після їх прикручують або припаюють до круглого стержня відповідної довжини.

Двокромочне свердло для глибокого свердління (рис. 3.53) застосовують для свердління отворів діаметром від 20 до 175 мм у суцільному матеріалі. Ці свердла можуть оснащуватися пластинами твердого сплаву. Різальні кромки для подрібнення стружки мають

прорізані канавки, що розміщені в шахматному порядку. При свердлінні обертається заготовка. Різальна головка з вставними зубами кріпиться до трубчастого стебла, яке має направляючу частину по всій довжині. МОР під тиском 0,5 МПа подається через спеціальні канали, захоплює стружку і відводить її через отвори в стеблі.

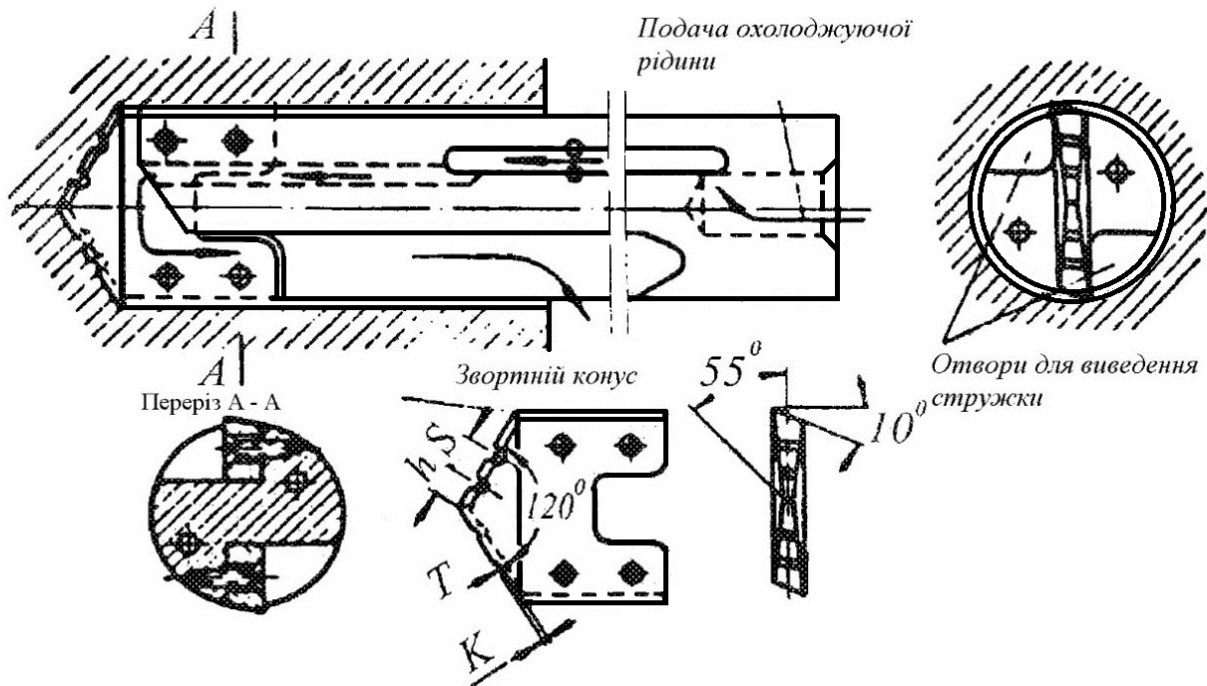


Рис. 3.53. Свердло двокромочне для глибокого свердління з поліпшеними умовами центрування

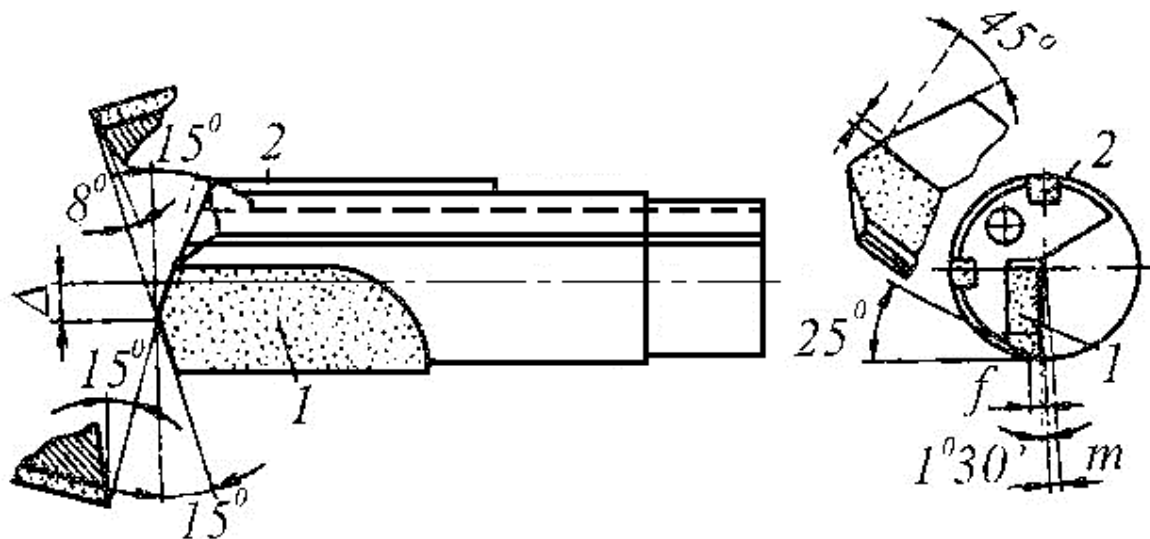


Рис. 3.54. Свердло рушничне з припаяною пластинкою з твердого сплаву

Однокромочне (рушничне) свердло для глибокого свердління показано на рис. 3.54. Це свердло має одну різальну кромку, яка заходить за центр свердла, щоб обробити повністю отвір.

Свердло базується на двох опорах і різальній кромці. Воно стійке в роботі і точність свердління, не дивлячись на одностороннє притискання, вища ніж у двокромочних. Можна отримати отвори з викривленням осі до 0,2 мм на довжині 1 м.

Таке мале викривлення осі отвору можна пояснити тим, що дві «тупі» опори не дозволяють інструментові заглиблюватися в отвір боком, а в двокромочних свердлах обидві кромки гострі і при найменшій нерівності радіальних сил гострі кромки легко заглиблюються в стінки отворів.

Свердління *кільцевими* (трубчастими) свердлами (дивись рис. 3.55). Такі свердла рекомендується застосовувати для обробки отворів діаметром 80 мм і більших, хоча відомі головки для отворів діаметром 40 мм.

Свердло оснащене багаторізевою головкою з вставними твердосплавними ножами. Головка з'єднується з порожнистим стержнем різьбою. Такими свердлами свердлять наскрізні отвори великого діаметра в стволах гармат, порожнистих шпинделях, валах тощо. Сучасні верстати дозволяють обробляти отвори довжиною до 12 м у заготовках, що обертаються.

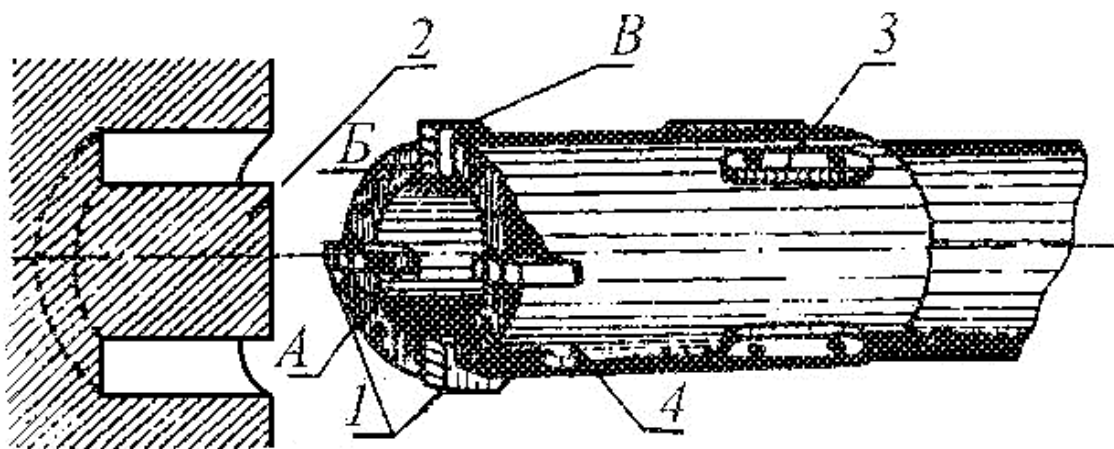


Рис. 3.55. Свердло кільцеве

Розточування глибоких отворів розділяється на чорнове, чистове і комбіноване, коли застосовують дві пари різців в одному блоці. При цьому направляючі розточувальної головки виготовляють з металу, твердого дерева, гуми тощо. Чистове розточування дозволяє отримувати отвори під хонінгування з шорсткістю R_a 5 мкм. Припуск під чистове розточування отворів в межах 0,5–2 мм.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. У чому відмінність вертикально від радіально-свердлильних верстатів?
2. Який інструмент для свердління застосовується і види його кріплення?
3. Які види виконуваних робіт при свердлінні і точність їх отримання?
4. Наведіть приклади поліпшення технологічності деталей оброблюваних на свердлильних та розточувальних верстатах.
5. Як встановлюють і кріплять заготовки на свердлильних верстатах?
6. Які методи свердління отворів існують?
7. Яке призначення і які типи кондукторних втулок існують?
8. Які переваги та недоліки у застосовуваних кондукторних пристроїв?
9. Яка послідовність визначення режимів різання при свердлінні?
10. Які особливості свердління отворів на агрегатних верстатах?
11. Які способи підвищення продуктивності при свердлінні отворів?
12. Які способи свердління застосовують для отримання глибоких отворів?
13. Як здійснюється глибоке свердління одно- і двокромочними свердлами?
14. Як здійснюється розточування глибоких отворів?

3.4. Обробка на розточувальних верстатах

Розточувальні верстати відносяться до свердлильної групи верстатів і включають такі типи:

- 24... – координатно-розточувальні;
- 26... – розточувальні;
- 27... – алмазно-розточувальні.

3.4.1. Конструкції верстатів

Координатно-розточувальні верстати – це верстати підвищеної точності і їх застосовують, як правило, в інструментальному і ремонтному виробництві для виготовлення точних корпусних та інших складних деталей. В основному виробництві їх не застосовують. Координатно-розточувальні верстати бувають з одним стояком (рис. 3.56) і мають один вертикальний шпиндель, або з двома стояками і вони мають один горизонтальний і один вертикальний шпиндель.

У одностоякових верстатів стіл може переміщуватися в горизонтальній площині в двох взаємно перпендикулярних напрямках, а в двостоякових – стіл має тільки поздовжню подачу.

Точність міжцентрової відстані між отворами при обробці на координатно-розточувальних верстатах – до 4 мкм, точність діаметра розточувального отвору – до 2 мкм. Точність позиціювання стола дорівнює 1 мкм, застосовуються оптичні і поляризаційні відлікові пристрої.

Це найточніші і найдорожчі верстати. Їх установлюють в окремих приміщеннях, без вібрацій і з мікрокліматом.

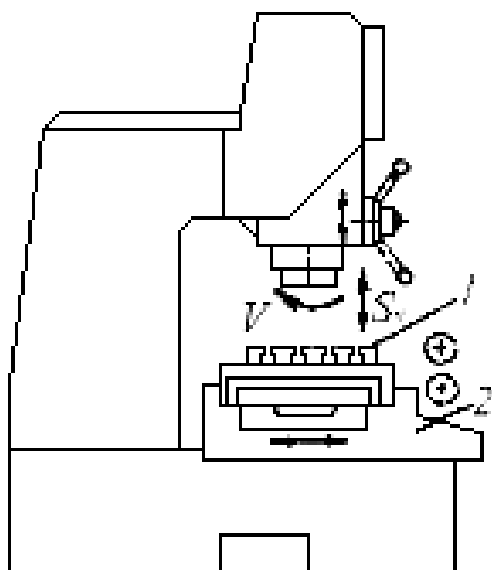


Рис. 3.56. Загальний вигляд координатно-розточувального верстата з одним стояком

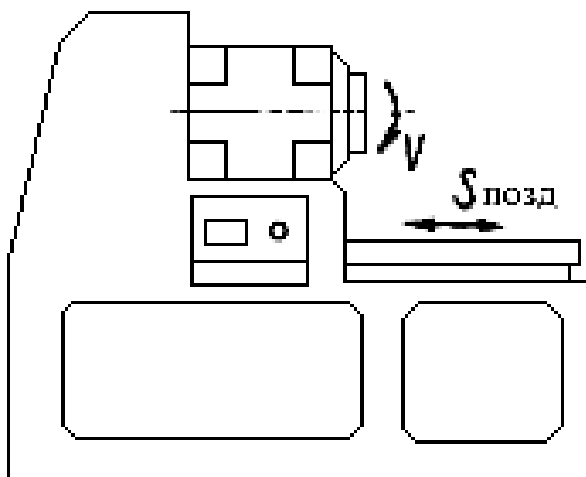


Рис. 3.57. Загальний вигляд алмазно-розточувального верстата

Алмазно-розточувальні верстати (рис 3.57) можуть бути одно- і багатошпиндельними, з вертикальними, горизонтальними або нахиленими шпинделями. Найчастіше це спеціальні верстати.

Серійно випускають верстати з 4-ма горизонтальними шпинделями. На них розточувальні головки нерухомі, а стіл з установленими заготовками подається на них. Можна розточувати отвори діаметром до 200 мм. Алмазно-розточувальні верстати застосовують тільки для завершальної обробки. Розточування виконується з дуже високими швидкостями – до 150–200 м/хв, і навіть до 1000 м/хв при обробці кольорових сплавів, дуже малими подачами – від 0,002 до 0,01 мм/об і глибиною різання – від 0,05 мм. В результаті алмазного розточування можна отримати отвори до 5-го квалітету точності з шорсткістю поверхонь до R_a 0,32 мкм, і навіть R_a 0,16 мкм.

Горизонтально-розточувальні верстати. Розточувальні верстати розділяються на горизонтально- (мод. 2М615, 2Е656Р, 2459 та ін.) і вертикально-розточувальні. Вертикально-розточувальні верстати у нас не застосовують.

На горизонтально-розточувальних верстатах виконують механічну обробку великих складних корпусів типу редукторів, бабок, станин, рам, циліндрів, втулок і інших заготовок складних і дорогих деталей.

Їх застосовують в ОБ та СВ. Розділяють три види горизонтально-розточувальних верстатів.

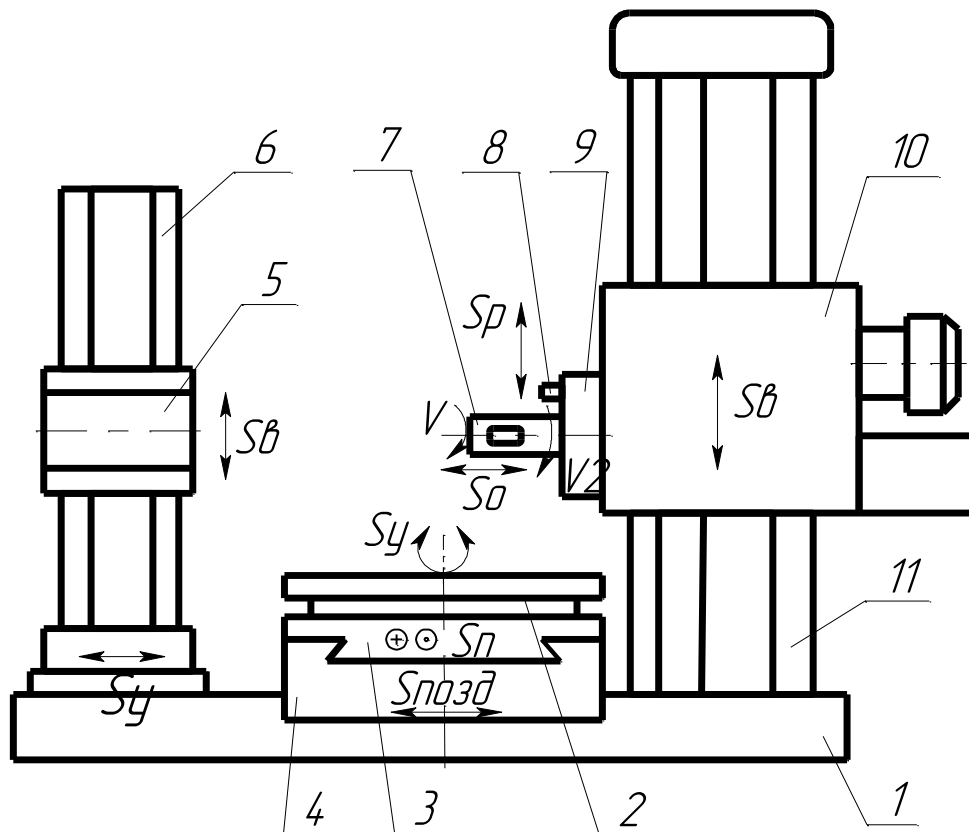


Рис. 3.58. Загальний вигляд горизонтально-розточувального верстата

Перший вид (рис. 3.58) найширше розповсюджений і призначений для обробки заготовок середньої величини. На плиті 1 встановлено шпиндельний 11 і люнетний 6 стояки. На шпиндельному стояку встановлена шпиндельна бабка 10 з шпинделем 7, планшайбою 9 і радіальним різцевим супортом 8. На люнетному стояку встановлена люнетна втулка 5, що призначена для підтримування вільного кінця довгих борштанг. Між шпиндельним і люнетним стояками встановлений стіл 4.

На цих верстатах передбачені два головні робочі рухи: обертання шпинделя з швидкістю V та обертання планшайби з різцевим супортом V_2 . Заготовку встановлюють на столі, який має поздовжню і поперечну подачу та установочний поворот. Шпиндельна і люнетна бабки мають синхронне вертикальне переміщення S_{β} . Подачу уздовж осі шпинделя можна виконувати як за рахунок висування шпинделя (при цьому його жорсткість змінюється, що негативно впливає на точність обробки), так і за рахунок переміщення стола на відносно великі відстані. Різцевий супорт,

установлений в пазі планшайби, має радіальну подачу S_p і в процесі обробки торців отворів різець рухається по спіралі Архімеда.

Другий вид горизонтально-розточувальних верстатів призначений для обробки великих заготовок. Він подібний до першого, але замість стола має нерухому плиту розміром до 5000x8000 мм з пазами для кріплення заготовок. Проте у ньому шпиндельний та люнетний стояки мають синхронну поперечну подачу.

Третій вид верстатів подібний до першого, але у них відсутній люнетний стояк.

Крім розглянутих, у МВ і ВСВ застосовують багатшпиндельні спеціальні агрегатно-розточувальні верстати різних компоновок для розточування блоків циліндрів, корпусів коробок передач тощо.

Горизонтально-розточувальні верстати з ЧПК не мають люнетного стояка і їх оснащують позиційними системами ЧПК, рідше прямокутними, контурними або комбінованими: 2620ВФ1, 2636Ф1, 2622ВФ1, 2А620Ф2-1, 2А622Ф2-1, 2636ГФ2, 2560Ф2, 2651Ф2 та ін..

3.4.2. Види робіт, виконуваних на розточувальних верстатах

Розточувальні верстати – це верстати дуже великих технологічних можливостей. Їх раніше називали свердлильно-фрезерно-розточувальні верстати. На цих верстатах переважно виконують роботи по точній обробці отворів різної форми і їх торців з витримуванням точних діаметрів і міжцентрових відстаней.

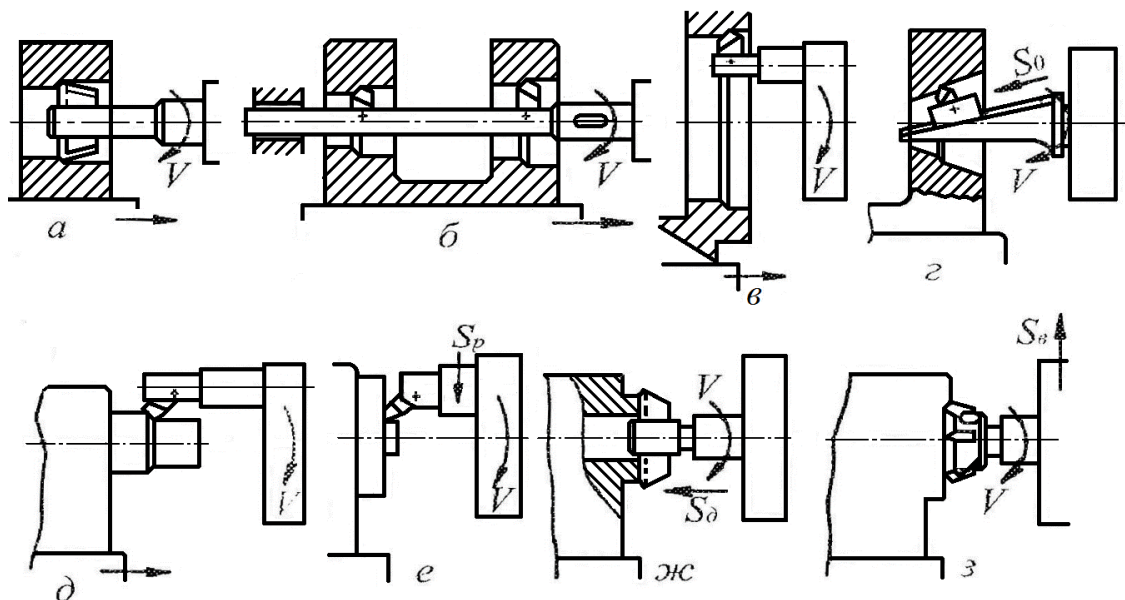


Рис. 3.59. Схеми обробки поверхонь заготовок на горизонтально-розточувальних верстатах

Можна також фрезерувати зовнішні складні поверхні, але ці роботи краще виконувати на дешевших і продуктивніших фрезерних верстатах.

Види виконуваних робіт показані на рис. 3.59. Крім гладких отворів, можна також оброблювати виточки, холодильники, зовнішні торці плоскі і циліндричні, зовнішні канавки, оброблювати конічні поверхні, фрезерувати контури вікон тощо. Можна нарізувати різьби мітчиками або різьбонарізними головками; нарізувати різьби різцями можна, але не рекомендується через складність процесу. При необхідності на розточувальних верстатах можна фрезерувати пази, свердлити кріпильні отвори на фланцях корпусів тощо.

3.4.3. Установка і кріплення заготовок на розточувальних верстатах

На розточувальних верстатах заготовки установлюють (рис. 3.60):

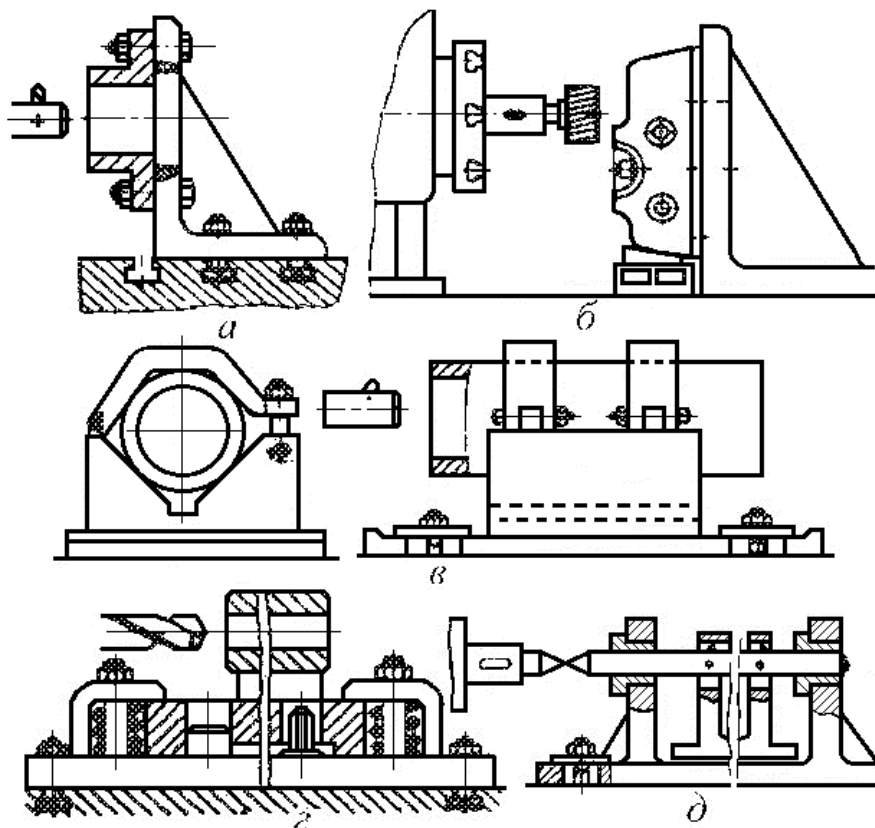


Рис. 3.60. Установка і закріплення заготовок на розточувальних верстатах

а) на косинці для обробки отворів, перпендикулярних до базової поверхні;

б) на косинці, для обробки площин, паралельних до базової поверхні;

в) в призмах, з кріпленнях хомутами для обробки заготовок з циліндричною базовою поверхнею;

г) установка заготовок в спеціальних пристроях, на два пальці з кріпленням прихватами;

д) установка заготовок в спеціальних розточувальних кондукторах з розміщенням борштанги у втулках і її з'єднанням з шпинделем через кулачкову муфту.

Крім того, при обробці за розміткою та розточуванні отворів, паралельних до базової поверхні, заготовки установлюють безпосередньо на столі верстата з кріпленням болтами, прихватами тощо.

3.4.4. Застосовуваний інструмент та його кріплення

За способом кріплення застосовувані інструменти розділяють на три групи: закріплювані безпосередньо в шпинделі верстата, закріплювані в радіальному різцевому супорті, закріплювані в і на борштангах.

Безпосередньо в конічному отворі шпинделя закріплюють осьові інструменти: розточувальні скалки, свердла, зенкери, розвертки, кінцеві і торцеві фрези. Вони установлюються в шпинделі і базуються в конічному отворі з самогальмівним конусом Морзе № 4, 5, 6.

Кінець шпинделя (рис. 3.61) має два поперечних наскрізних отвори: один для кріплення інструмента за допомогою затяжного клина, а другий - для вибивання інструмента.

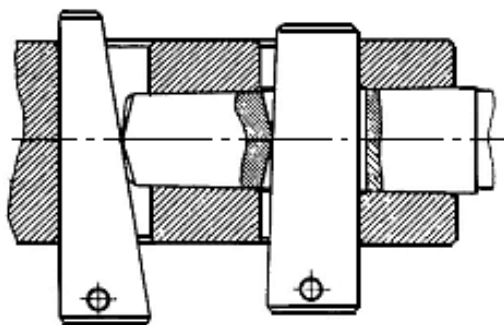


Рис. 3.61. Кріплення інструмента в шпинделі розточувального верстата

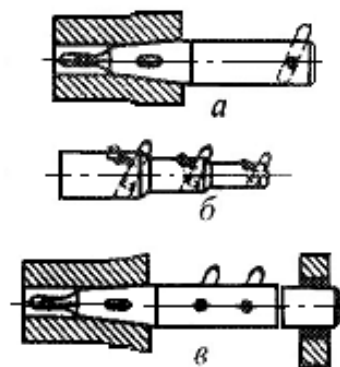


Рис. 3.62. Види борштанг, які застосовуються на розточувальних верстатах

Установка різних різців *на радіальному різцевому* супорті застосовується при обробці неглибоких отворів (рис. 3.59, в, г), обробці зовнішніх поверхонь обертання (рис. 3.59, д), підрізуванні торців тощо (рис. 3.59, е).

При обробці довгих отворів, або декількох отворів одночасно, застосовують розточувальні скалки та борштанги, які закріплюють в шпинделі консольно (рис. 3.62, а, б), або в шпинделі і люнетній втулці, що підвищує їх жорсткість (рис. 3.62, в).

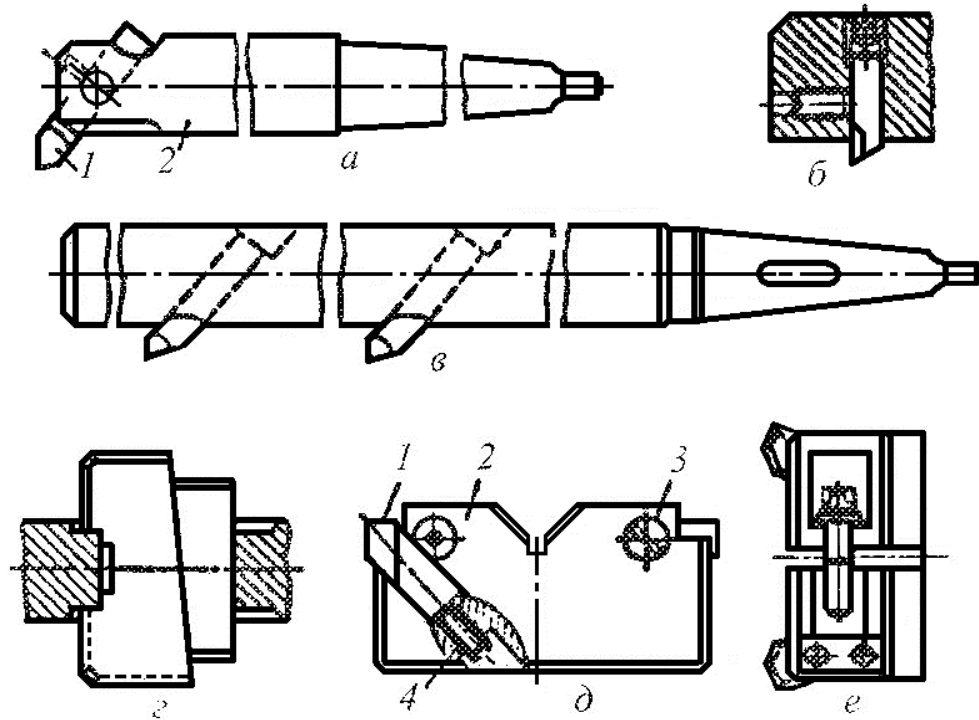


Рис. 3.63. Інструменти, які застосовують для обробки отворів на розточувальних верстатах

Для виключення впливу биття шпинделя на точність обробки, борштанги установлюють у двох притертих кондукторних втулках і з'єднують з шпинделем через муфту (рис. 3.60, д).

На борштангах установлюють насадні зенкери, розвертки, блоки різців тощо. В пазах борштанг (рис. 3.63) установлюють розточувальні різці, пластини, жорсткі і плаваючі різцеві блоки, підрізні пластини тощо. В одній борштанзі можна установлювати декілька інструментів.

При обробці на розточувальних верстатах часто застосовують розточувальні пластини і різцеві блоки з жорстким кріпленням. Розточувальна пластина (рис. 3.63, г) центрується виступом в пазі борштанги і жорстко кріпиться клином. Розточувальний блок різців, який може нести до 10-ти інструментів (рис. 3.63, д), центрується в пазі борштанги штифтом і жорстко кріпиться клином.

Різці в борштангах закріплюють гвинтами (рис. 3.64). Пластини і блоки, які жорстко кріпляться в пазі борштанги, дозволяють при розточуванні змінити положення осі отвору.

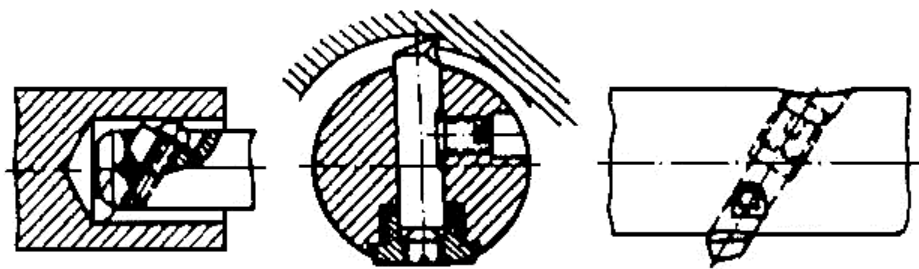


Рис. 3.64. Способи закріплення різців у борштангах

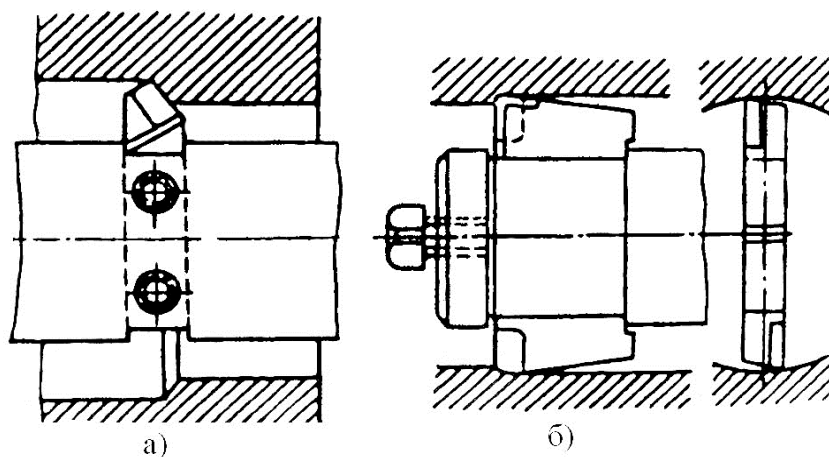


Рис. 3.65. Схеми закріплення різця (а) і розточувальної пластини (б) в борштанзі

При остаточному розточуванні отворів широко застосовують плаваючі різцеві блоки і пластини. Така пластина (рис. 3.65, б) легко самовстановлюється в поперечному напрямі. Її діаметр дуже точний, що забезпечує високу якість обробки. За допомогою таких пластин можна отримувати отвори 7-го та вищого квалітетів точності і, завдяки наявності зачистних кромок, досягається шорсткість поверхні R_a 0,63–0,32 мкм і навіть R_a 0,16 мкм. Плаваючі пластини застосовують для обробки дуже точних отворів, але вони не виправляють викривлення або положення осі отвору.

3.4.5. Методи розточування

У залежності від конкретних умов і типу виробництва застосовують наступні методи розточування.

Розточування за розміткою. Застосовується в ОВ і СВ при виготовленні великих і середніх корпусних деталей (рис. 3.67).

Після того, як розмітник нанесе і накернить необхідні осі і лінії, заготовку за допомогою підставок, клинів, домкратів, рисувалок і т.д. виставляють так, щоб основні розмічені лінії і осі зайняли певне положення відносно осі шпинделя. Потім заготовку закріплюють і виконують обробку.

Розточування в кондукторі (рис. 3.60, д) найчастіше застосовується в СВ. Заготовку базують за правилом „шести точок”, закріплюють і виконують розточування за допомогою попередньо налагоджених борштанг. Розточування в кондукторах дозволяє підвищити продуктивність обробки за рахунок зменшення допоміжного часу на установку заготовки і поліпшити якість обробки.

Координатне розточування. Воно виконується на розточувальних і координатно-розточувальних верстатах, які мають точне переміщення стола або шпинделя в двох взаємно перпендикулярних напрямках. При координатному розточуванні, якщо задана відстань між двома отворами, яка не паралельна до напрямку подачі стола, необхідно, рішення системи прямокутних трикутників, визначити відстані між отворами в двох взаємно перпендикулярних напрямках і виконувати обробку. Але найкраще на кресленні деталі задавати положення оброблюваних отворів у вигляді взаємно перпендикулярних координат, проставлених від базових поверхонь (рис. 3.66).

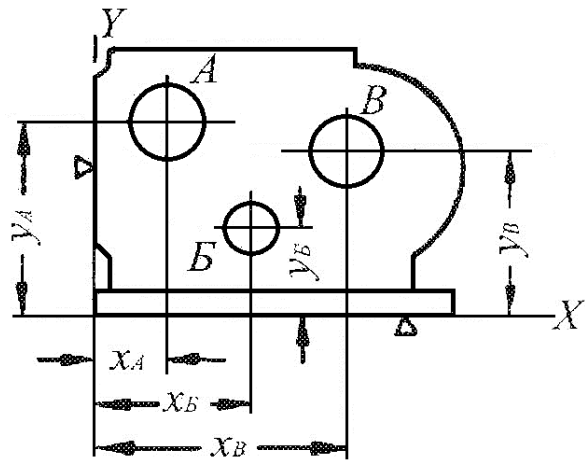


Рис. 3.66. Схема розточування отворів за координатами

Розточування на агрегатних верстатах. Це багатошпиндельні верстати, котрі дозволяють підвищити продуктивність обробки в 6 – 8 разів. Агрегатні верстати застосовують у МВ, а переналагоджувані – у ВСВ.

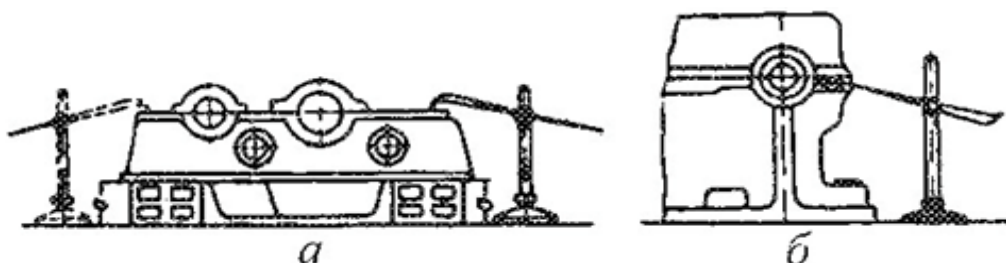


Рис. 3.67. Вивіряння заготовок при обробці на розточувальних верстатах

3.4.6. Способи обробки отворів 7-9-го квалітетів точності на розточувальних верстатах

Менш точні отвори рекомендується оброблювати на інших, дешевших верстатах.

Отвори 7–9-го квалітетів доцільно оброблювати такими способами:

- для литих отворів діаметром 50–80 мм – zenкерування, розвертання чорнове і чистове;
- для отворів діаметром 80–120 мм – чорнове розточування, zenкерування, чорнове і чистове розвертання;
- для отворів діаметром до 200 мм – чорнове розточування різцем, напівчистове і чистове розточування різцевими блоками.

Отвори 7-го і вищого квалітетів оброблюють такими способами:

- для отворів діаметром 100–200 мм – чорнове і напівчисте розточування різцем, ще одне розточування блоком і чистове розточування плаваючим блоком або пластиною;
- для отворів діаметром до 500 мм – чорнове і чистове розточування різцевими блоками і остаточне алмазне розточування.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які види розточувальних верстатів існують, їх переваги і недоліки?
2. Які види робіт виконуються на розточувальних верстатах?
3. Як встановлюють і кріплять заготовки на розточувальних верстатах?
4. Який інструмент для розточування застосовується та його кріплення?
5. Які існують методи розточування отворів?
6. Які способи обробки отворів 7-9-го квалітетів точності застосовують на розточувальних верстатах?

3.5. Обробка на фрезерних верстатах

3.5.1. Класифікація верстатів фрезерної групи і їх конструктивні особливості

Фрезерні верстати відносяться до шостої групи і включають такі типи:

- 61... – вертикально-фрезерні консольні верстати,
- 62... – фрезерні безперервної дії,
- 63... – поздовжньо-фрезерні з одним стояком,
- 64... – копіювальні і гравірувальні фрезерні верстати,
- 65... – вертикальні безконсольні,

66... – поздовжньо-фрезерні з двома стояками,
 67... – широкоуніверсальні фрезерні,
 68... – горизонтально-фрезерні,
 69... – різні фрезерні.

Третя цифра в позначенні моделей верстатів указує на номер стола за розмірами. Частіше застосовують типи верстатів 1 та 8, рідше 2 і 6. Решта верстатів спеціалізовані і застосовуються рідко.

У залежності від розміщення осі шпинделя верстати розділяються на вертикально- і горизонтально-фрезерні.

Вертикально-фрезерні верстати (мод. 6Т104, 6Р11, 6Р12, 6Р13 та ін.) за конфігурацією подібні до вертикально-свердильних (рис. 3.68).

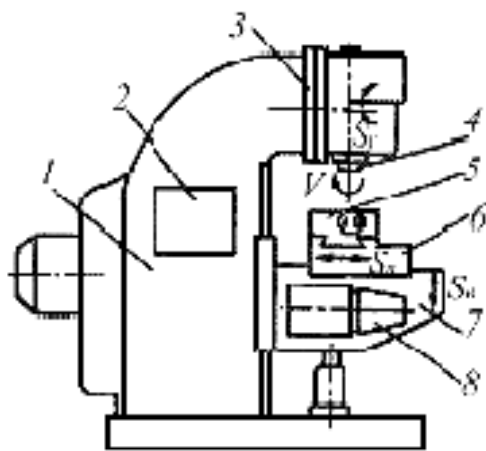


Рис. 3.68. Загальний вигляд вертикально-фрезерного верстата

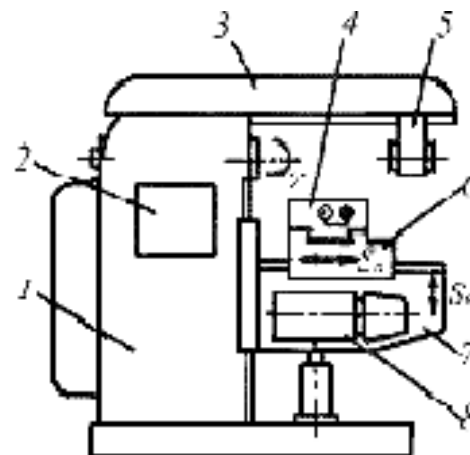


Рис. 3.69. Загальний вигляд горизонтально-фрезерного верстата

Головний робочий рух – обертання шпинделя 4 з інструментом, м/хв. Рухи подачі в консольних (легкі і середні) верстатів S_n , $S_{позд}$ і S_v (відповідно, поперечну, поздовжню і вертикальну) виконує стіл з заготовкою, мм/хв; у важких безконсольних верстатів (мод. 6540, 6550, 6560, 6А56, 6059 та ін.) $S_{позд}$ і S_n виконує стіл, який установлений на плиті верстата, а S_v – шпиндель. У вертикально-фрезерних верстатів шпиндель має установочний поворот навколо горизонтальної осі. Ці верстати призначені для обробки торцевими фрезами, кінцевими фрезами і дисковими, закріпленими на оправках. Інструмент кріпиться консольно. Вертикально-фрезерні верстати застосовують в ОВ і СВ.

Горизонтально-фрезерні верстати (мод. 6Р80, 6Р81, 6Р81Ш, 6Р82Г, 6Р82Ш, 6Р83 та ін.). Головний робочий рух (рис. 3.69) – обертання шпинделя V з інструментом. Усі три рухи подачі виконує стіл 4.

Стіл у горизонтальній площині верстата має установочний поворот на кут до 30° , що дозволяє фрезерувати нахилені поверхні, а також гвинтові пази і канавки при застосуванні ділильних головок з механічним приводом. Верстати цієї групи призначені для обробки циліндричними, дисковими і наборами фрез, установленими на оправці. Оправка одним кінцем вставляється в шпинделі верстата, а другий кінець входить у люнетну втулку 5, що підвищує жорсткість системи ВПД. Часто застосовують обробку торцевими і кінцевими фрезами, закріпленими консольно. Горизонтально-фрезерні верстати застосовують в ОВ і СВ.

Поздовжньо-фрезерні верстати можуть бути з одним і частіше з двома (рис. 3.70) стояками. Моделі: 6У312 і 6У313 (з одним стояком); 6605, 6606, 6Г608, 6Г610, 6620, 6625 (з двома стояками). Вони мають порталну раму, на котрій можуть установлюватися від однієї до чотирьох горизонтальних або вертикальних фрезерних головок 3. ГРР – обертання шпинделів V , м/хв. Стіл 2 з установленими на ньому заготовками виконує поздовжню подачу.

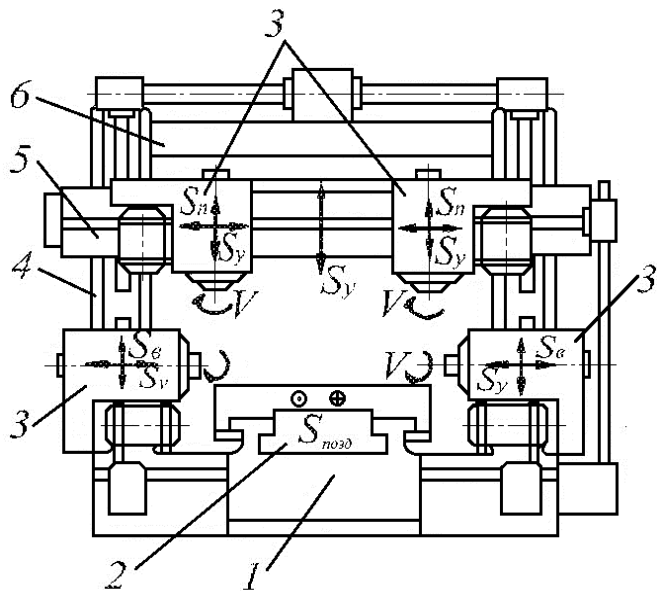


Рис. 3.70. Загальний вигляд поздовжньо-фрезерного верстата з двома стояками

Поперечні рухи подачі виконують супорти вздовж двох стояків 4 і траверси 5. Крім того, передбачене установочне осьове переміщення шпинделів.

Шпинделі також мають установочний поворот навколо горизонтальних осей, що застосовується для обробки поверхонь, розміщених під кутом. Верстати цього типу широко застосовуються в МВ, ВСВ, іноді ССВ при обробці великих заготовок торцевими фрезерними головками. Рідше застосовують циліндричні або набори фрез, установлених на горизонтальній оправці, закріпленій в отворах протилежних шпиндельних бабок.

Поздовжньо-фрезерні верстати застосовують найчастіше для обробки напрохід горизонтальних і вертикальних плоских, горизонтальних фасонних лінійчастих поверхонь. Довжина стола до 8 м і більше дозволяє установлювати в ряд декілька заготовок і виконувати одночасно обробку з трьох боків.

У МВ і ВСВ застосовують *верстати безперервної дії*: карусельно-фрезерні верстати з вертикальною віссю (мод. 621М, 6А23, 6М23, 6М23В) обертання стола (рис. 3.71, а) і барабанно-фрезерні верстати з горизонтальною віссю обертання барабана (рис. 3.71, б). У них стіл або барабан виконує безперервну кругову подачу. На цих верстатах можна виконувати чорнове і чистове фрезерування при одному установі.

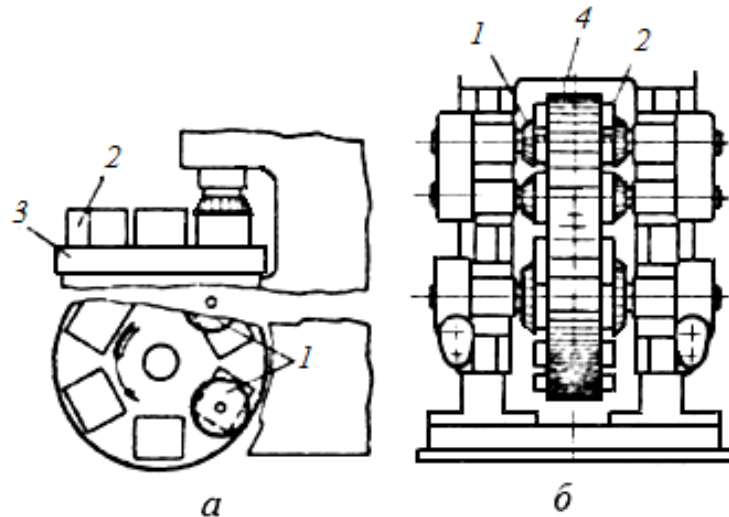


Рис. 3.71. Схеми фрезерних верстатів безперервної дії

Сучасні *фрезерні верстати з ЧПК* звичайно мають револьверні головки на 5 – 6 інструментів. Випускають верстати трьох основних типів: безконсольні з хрестовим столом (наприклад, 654Ф3, 6520Ф3, МА655Ф3 та ін.), консольно-фрезерні (6Р13Ф3, 6Р13РФ3 та ін.) і поздовжньо-фрезерні (6304Ф3, 6305Ф4, 6М610Ф3 та ін.).

3.5.2. Застосовуваний інструмент та його кріплення

Для обробки на фрезерних верстатах застосовують багатолезові інструменти – фрези. У зв'язку з багатолезвістю фрез, цей вид обробки забезпечує більш високу продуктивність, ніж обробка однолезовим інструментом. При чорновому фрезеруванні забезпечується 12-11 квалітет точності поверхонь з шорсткістю до R_a 10 мкм.

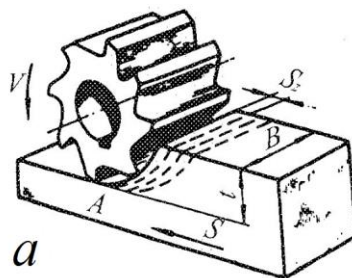
При чорновому і наступному чистовому фрезеруванні забезпечується точність обробки 10-9 квалітету з шорсткістю поверхонь R_a 5–1,25 мкм.

Тонке фрезерування, яке виконується з малими подачами і глибинами різання при $V = 200-300$ м/хв, старанно заточеними фрезами (щоб торцеве биття зубів не перевищувало 0,01 мм), дозволяє отримувати точність обробки 7-8 квалітету з шорсткістю поверхонь R_a 0,62–0,32 мкм.

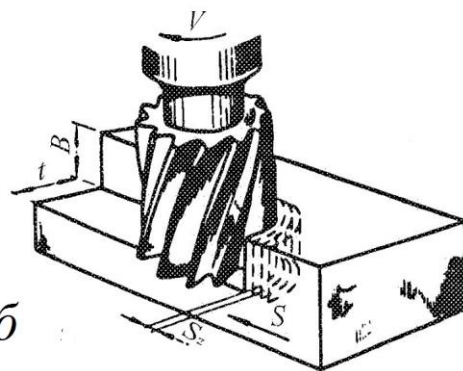
Таке фрезерування іноді застосовують замість шліфування і шабрування. При цьому, щоб виключити пошкодження поверхні зачисними зубами, фрезу нахиляють під дуже малим кутом $tg\alpha = 0,0001$.

Конструкцій фрез дуже багато. Умовно їх можна розділити на дві групи: циліндричні (рис. 3.72, а), у них різальні зуби розміщені на периферії і до них відносяться фрези циліндричні, дискові, трьохсторонні, фасонні, пили, прорізні тощо; торцеві (рис. 3.72, б), у котрих різальні зуби розміщені на торці.

Кріплення фрез. Циліндричні фрези 1 звичайно установлюють (рис. 3.73, а) на оправках 2 горизонтально-фрезерних верстатів. Оправки вставляються в конічний отвір шпинделя 3 з несамогальмівним фрезерним конусом 7/24 і затягуються гвинтом 4.

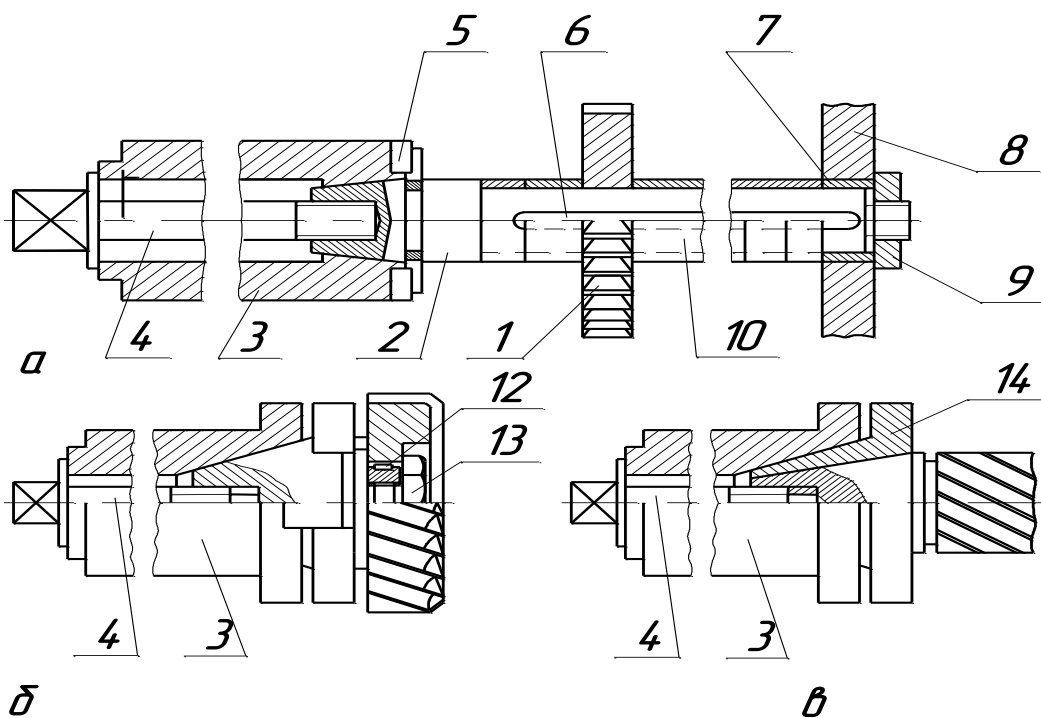


а



б

Рис. 3.72. Фрезерування циліндричною (а) і кінцевою (б) фрезами



а

б

б

Рис. 3.73. Способи закріплення інструментів на фрезерних верстатах

Крутний момент з шпинделя на оправку передається за допомогою двох торцевих шпонок 5. Положення фрези уздовж оправки регулюється установочними кільцями 10, а крутний момент з оправки на фрезу передається шпонкою 6. Вільний кінець оправки підтримується люнетною втулкою 7 і затягується гайкою 9.

Торцеві фрезерні головки, кінцеві фрези, оправки дискових фрез звичайно кріпляться консольно (рис. 3.73, б, в) в кінчному отворі шпинделя з конусом 7/24 і затягуються гвинтом. Іноді фрезерні головки кріплять безпосередньо до торця шпинделя чотирма болтами, при цьому базою для фрезерної головки є зовнішній діаметр і торець шпинделя. Крутний момент у даних випадках передається торцевими шпонками.

Іноді фрези малих діаметрів кріплять, як і свердла, – в отворах за конусом Морзе шпинделів легких фрезерних верстатів, або в цангах.

3.5.3. Види виконуваних робіт

Фрезерування площин можна виконувати циліндричними фрезами (рис. 3.74, а) і торцевими (рис. 3.74, б).

Циліндричними фрезами оброблюють плоскі поверхні шириною до 100–120 мм. Для плавної роботи різальні зуби виконують у вигляді гвинтової лінії, що викликає осьову силу при фрезеруванні. Необхідно, щоб ця осьова складова сил різання діяла у напрямі до шпинделя верстата. Циліндричні фрези виготовляють як з швидкорізальних сталей, так і з твердих сплавів.

При обробці циліндричними фрезами розрізняють два способи фрезерування.

Зустрічне фрезерування (рис. 3.75, а), коли обертання фрези направлене проти подачі заготовки. При цьому товщина стружки постійно збільшується, сягаючи a_{max} . Перед початком різання має місце невелике ковзання різальної кромки зуба по поверхні різання, що викликає підвищений знос фрези і зниження якості обробленої поверхні.

Попутне фрезерування (рис. 3.75, б), коли обертання фрези співпадає з напрямом подачі заготовки. У цьому випадку зуб фрези зразу захоплює метал на максимальну товщину a_{max} зрізу. Цей спосіб більш сприятливий, тому що дозволяє підвищити продуктивність обробки (завдяки більшій подачі на зуб), якість обробленої поверхні і стійкість різального інструмента. Однак він потребує обладнання підвищеної жорсткості з механізмом вибору зазору між гвинтом і гайкою подачі стола. Крім того, попутне фрезерування недопустиме при обробці „по кірці” через низьку стійкість інструмента.

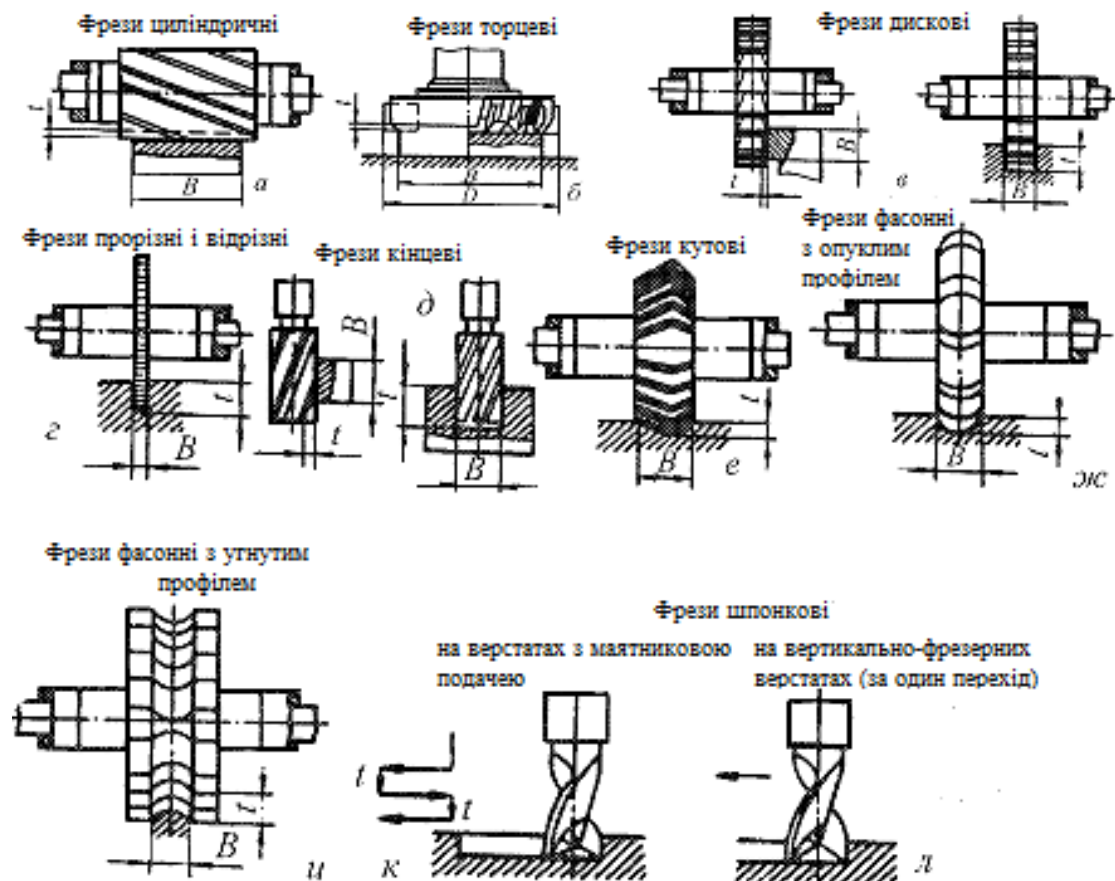


Рис. 3.74. Види робіт, виконуваних на фрезерних верстатах, та застосовувані інструменти

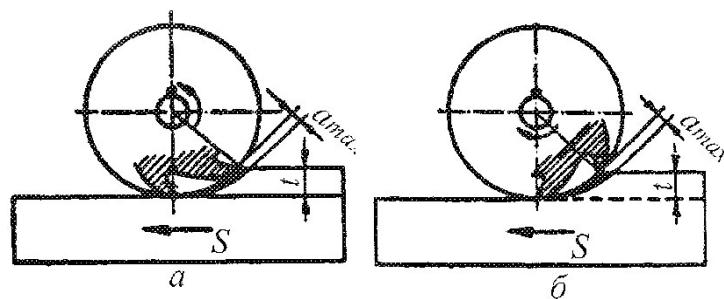


Рис. 3.75. Схеми зустрічного (а) та попутного (б) фрезерування

Торцевими фрезами найвигідніше оброблювати широкі плоскі поверхні без уступів, особливо фрезами з твердосплавними вставними ножами з механічним кріпленням пластин. Ці фрези виготовляють діаметрами від 100 до 630 мм і при рекомендованому відношенні $D/B = 1,25-1,40$ (де D – діаметр фрези, B – ширина оброблюваної поверхні) вони дозволяють за один перехід оброблювати плоскі поверхні шириною до 80–500 мм.

Фрезерування торцевими фрезами більш продуктивне, ніж циліндричними, тому що вони жорстко кріпляться в шпинделі верстата, проходить одночасне різання декількома зубами.

Якщо оброблювана поверхня паралельна до базової, то її зручно оброблювати торцевою фрезою на вертикально-фрезерному верстаті, якщо вона перпендикулярна до бази, то її зручніше оброблювати на поздовжньо- або горизонтально-фрезерному верстаті.

Невеликі площини можна оброблювати також дво- і тристоронніми дисковими фрезами (рис. 3.74, в) на горизонтально-фрезерних верстатах, або циліндричною частиною кінцевих фрез (рис. 3.74, д) на вертикально-фрезерних верстатах.

Фрезерування уступів можна виконувати дисковими дво- і тристоронніми фрезами, або кінцевими фрезами, які мають різальні кромки на торці і на периферії. Обробка уступів дисковими фрезами продуктивніша, ніж кінцевими, тому що конструкція інструмента більш жорстка.

Фрезерування пазів найпродуктивніше виконувати дисковими тристоронніми фрезами з зубами, заточеними (рис. 3.76, в) в шаховому порядку, тому що вони жорсткіші ніж кінцеві (рис. 3.76, д).

На фрезерних верстатах можна оброблювати Т-подібні (рис. 3.76, д) пази, або пази типу „хвіст ластівки” (рис. 3.76, е, ж), за два або три переходи. При цьому за перший перехід дисковою фрезою прорізають прямокутну канавку, а після грибковою трьохсторонньою фрезою за один, а краще за два, переходи фрезерують Т-подібний паз. Аналогічно оброблюють пази типу „хвіст ластівки”.

При *фрезеруванні шпонкових пазів* застосовують різні способи в залежності від розмірів та форми канавки.

Фрезерування дисковими фрезами (рис. 3.76, б) – спосіб дуже продуктивний, але в процесі прорізування розбивається паз, тобто його ширина іноді на 0,1 мм більша від ширини фрези. Застосовується в ОВ і МСВ.

Фрезерування пазів під сегментні шпонки (рис. 3.76, а) виконується спеціальними дисковими фрезами способом врізання на горизонтально-фрезерних верстатах. Це дуже продуктивний спосіб.

Фрезерування закритих шпонкових пазів кінцевими фрезами може виконуватися трьома способами.

За першим способом на свердлильному верстаті засвердлюють отвір на глибину паза, після на фрезерному верстаті виставляють і закріплюють заготовку, вводять фрезу в цей отвір і за один перехід повністю фрезерують паз (рис. 3.76, в). Застосовується в ОВ і МСВ.

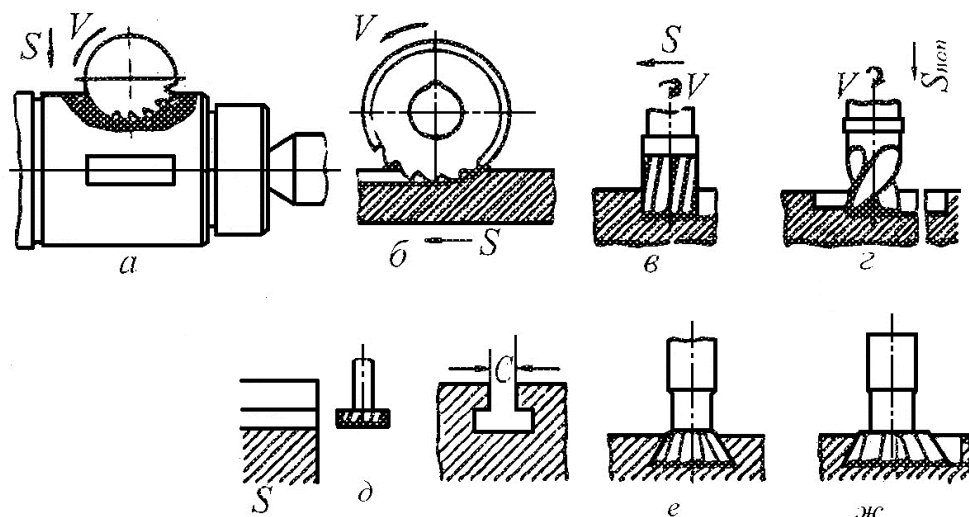


Рис. 3.76. Способи фрезерування пазів

За другим способом фрезерування виконується двозубою мірною шпонковою фрезою за декілька переходів (маятникове фрезерування). При цьому перед кожним переходом фреза заглиблюється на незначну глибину 0,1–0,3 мм (рис. 3.74, к). Цей спосіб застосовується у ВСВ і МВ на фрезерно-шпонкових напівавтоматах, забезпечує високу точність та продуктивність. Однак при фрезеруванні великої кількості пазів фреза затуплюється і втрачає розмір. Застосовують твердосплавні фрези.

За третім способом обробки фреза, крім обертання, має ще й регульований осцилюючий рух, що дозволяє немірною фрезою нарізувати точні пази.

Обробка фасонних поверхонь. Обробка фасонних лінійчастих поверхонь, звичайно, виконується на горизонтально-фрезерних верстатах дисковими (рис. 3.74, е, ж, и) або циліндричними фасонними фрезами. Замість складних циліндричних фрез краще виконувати обробку набором дискових фрез, що дешевше і зручніше заточувати інструменти.

Просторові складні фасонні поверхні оброблюють на фрезерно-копіювальних верстатах за копіром методом сканування, але продуктивніше і дешевше такі поверхні оброблювати на верстатах з ЧПК.

Крім указаних робіт фрезеруванням можна оброблювати поверхні типу „тіла обертання” (короткі ступінчасті вали і кулаки набором фрез), фрезерувати гвинтові канавки на свердлах і барабанних кулаках, нарізувати зуби зубчастих коліс модульними фрезами, нарізувати різьби тощо.

Технологічність деталей. При конструюванні технологічних деталей, які будуть виготовлятися на фрезерних верстатах, необхідно урахувати особливості обробки фрезеруванням. і МСВ.

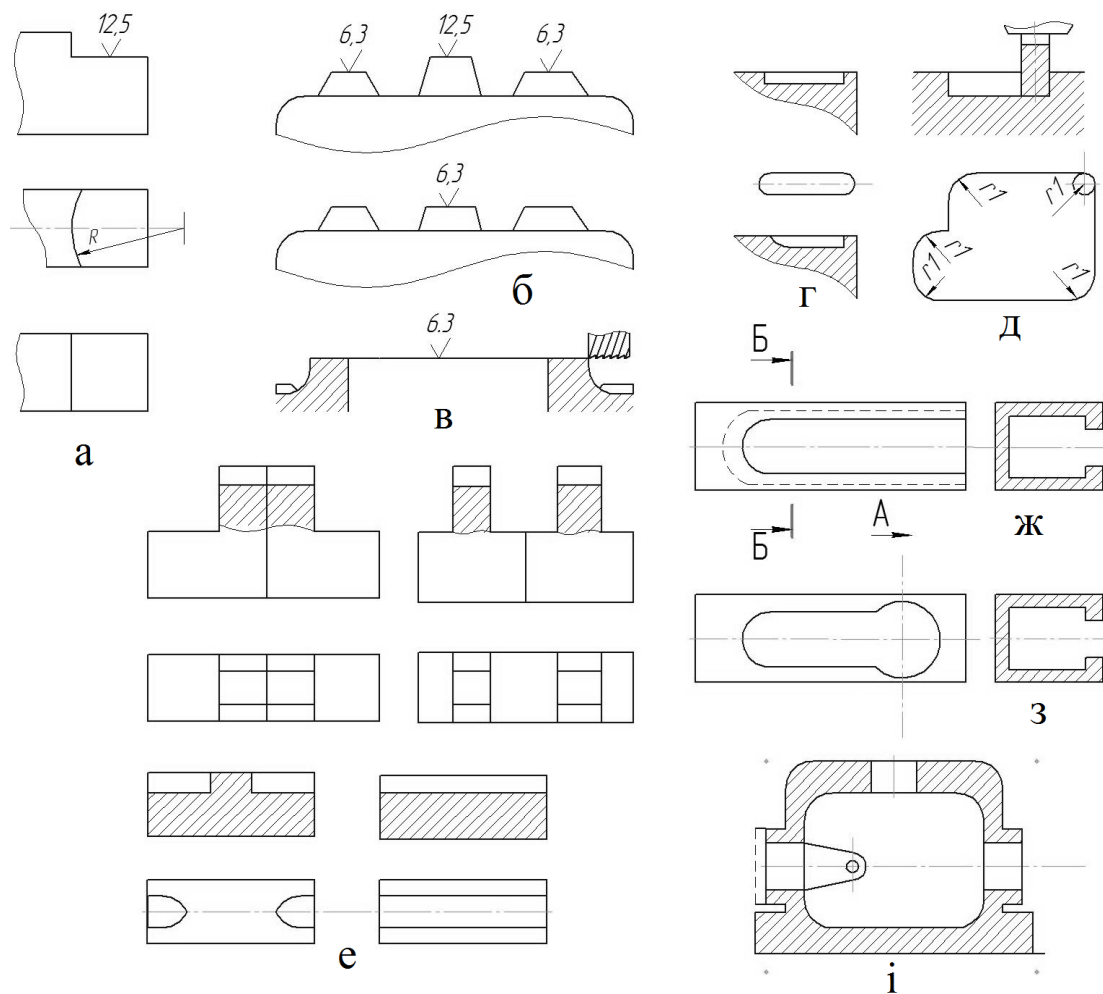


Рис. 3.77. Приклади поліпшення технологічності деталей, оброблюваних на фрезерних верстатах

На рис. 3.77 наведені приклади поліпшення технологічності таких деталей:

а – уступи та площадки краще фрезерувати напрохід замість обробки врізанням;

б – виступи та бобишки, які оброблюються фрезеруванням, повинні мати однакову висоту і шорсткість поверхонь;

в – оброблювані торці фланців повинні бути вищими від необроблюваних поверхонь виступів та ребер;

г – закриті шпонкові канавки, по можливості, замінюють відкритими, які можна обробити жорсткими дисковими фрезами;

д – при обробці внутрішніх контурів, радіуси переходів повинні бути однаковими і дорівнювати радіусу стандартної фрези;

е – конструкції деталей повинні бути такими, щоб при послідовній обробці двох заготовок можна зменшити шлях врізання і перебігу фрези;

ж – фасонні Т-подібні та інші пази повинні бути наскрізними, або відкритими з одного кінця;

з – напівзакриті пази з двох сторін деталі іноді краще замінити наскрізними;

і – необхідно уникати обробки фрезеруванням внутрішніх поверхонь, закритих для доступу інструмента.

3.5.4. Установка і закріплення заготовок на фрезерних верстатах

При обробці на фрезерних верстатах застосовують, приблизно, такі ж способи установки і закріплення заготовок, як і на верстатах свердлильної групи:

- на столі, за допомогою прихватів, при фрезеруванні за розміткою;
- в універсальних пристроях;
- у спеціалізованих і спеціальних пристроях.

В ОВ і МСВ при фрезеруванні за розміткою великі заготовки виставляють *на столі верстата* за допомогою клинів, пластин і т. п. і закріплюють за допомогою прихватів, планок, болтів та інших кріпильних пристроїв.

Для обробки невеликих і середніх заготовок в ОВ, МСВ і навіть ССВ застосовують *універсальні пристрої*: машинні лещата, ділильні головки, поворотні столи, патрони та ін.

Заготовки що мають циліндричну форму можна установлювати у призмах (рис. 2.32, б), котрі за допомогою двох орієнтуючих шпонок, що входять у Т-подібні пази стола верстата, виставляються паралельно до напрямку поздовжньої подачі стола.

На рис. 3.78 показані лещата з додатковими самоустановлюваними губками для одночасного затискання 4-х заготовок. Ексцентриковий затискач забезпечує високу швидкодію, а самоустановні губки – рівномірне затискання усіх заготовок незалежно від коливань їх діаметрів у межах допуску. У МВ і ВСВ застосовують швидкодіючі спеціальні і спеціалізовані пристрої з пневмо- та гідроприводом. На рис. 3.79 показані спеціалізовані лещата з пневмоприводом.

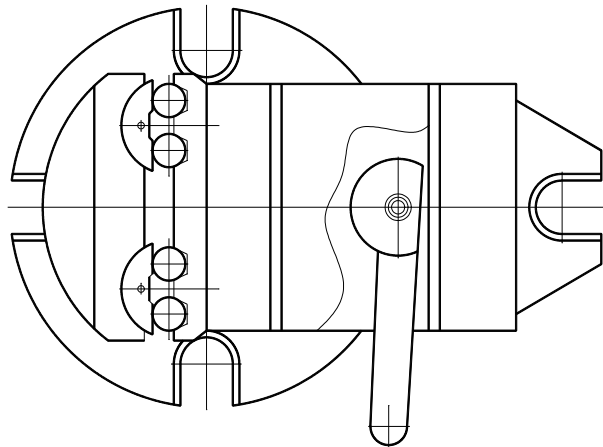


Рис. 3.78. Багатомісні лещата з губками, які самовиставляються

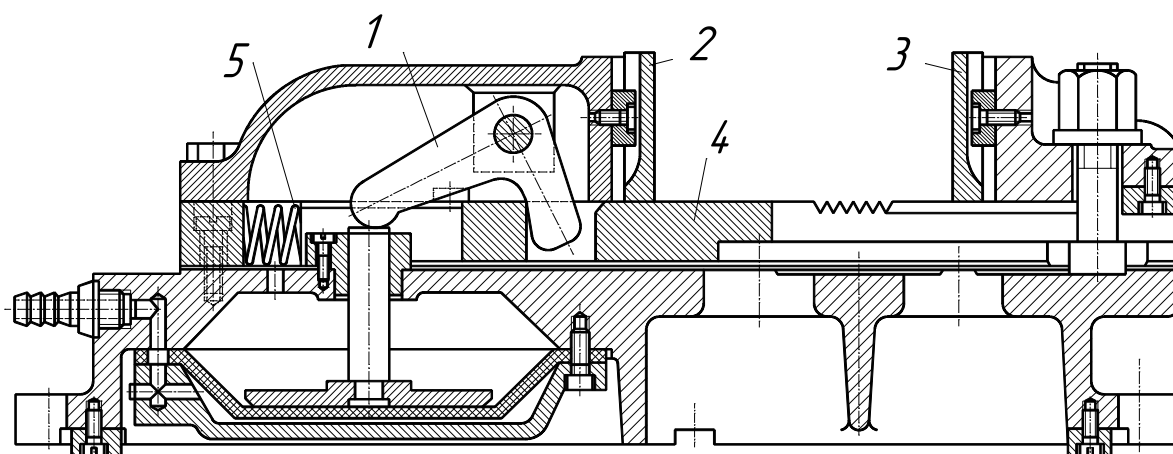


Рис. 3.79. Лещата з пневматичним затиском

При подаванні стиснутого повітря у пневмокамеру, її шток переміщується вгору і, повертаючи важіль 1, переміщує повзун 4 з рухомою затискною губкою 3 вліво, затискаючи заготовку. Розтискування заготовки виконується пружиною 5 після знімання тиску повітря у пневмокамері. Такі спеціалізовані верстати з плоскими губками легко перетворюються в спеціальні, якщо їх оснастити фасонними губками. Лещата з пневмозатискачем розвивають силу затискання до 10000 Н.

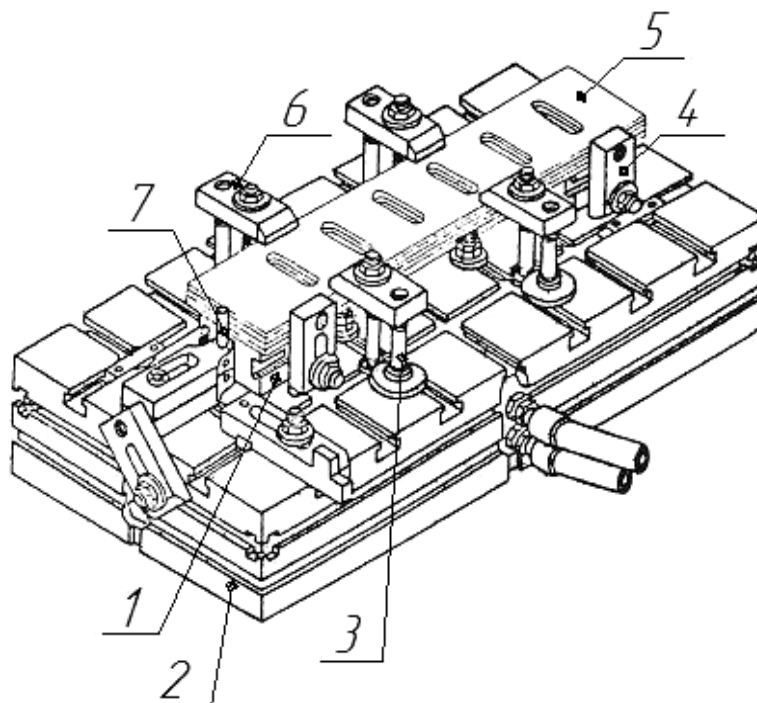


Рис. 3.80. Збірний пристрій для фрезерування пазів

Останнім часом, особливо при обробці на верстатах з ЧПК, широко застосовують універсальні збірні пристрої (УЗП), які збирають з стандартизованих елементів (плит, стояків, призм, різних опор тощо) багаторазового використання за типом «дитячого конструктора». Пристрій, що показаний на рис. 3.80 [39], використовується для фрезерування пазів. Пакет заготовок 5 базується на планці 1 і упирається в дві опори 4 та опору 7. Заготовки закріплюються 4-ма прихватами 6 зверху за допомогою штоків 3, які приводяться в дію гідроциліндрами, вмонтованими в стандартний гідроблок 2.

При проектуванні спеціальних фрезерних пристроїв необхідно враховувати наступне.

Для підвищення швидкодії і надійності затискання застосовують пристрої з пневмо- та гідроприводом.

При фрезеруванні виникають великі сили різання і необхідно, щоб вони притискали заготовку до жорстких постійних опор. Крім того, особливо при чорновому фрезеруванні, необхідно розраховувати зусилля затискання. Якщо зусилля затискання пневмоприводу з питомим тиском 0,4–0,5 МПа недостатньо, то застосовують гідропривід з питомим тиском рідини 2,5–4,0 (до 10) МПа.

Для правильної установки пристроїв відносно робочих органів верстата, необхідно передбачити два орієнтуючі елементи на опорній поверхні пристрою, які входять в центральний Т-подібний паз стола верстата, який найчастіше виконується з точністю Н9.

Для правильного попереднього виставлення фрези на заданий розмір обробки, в пристрої часто передбачають висотні і кутові установи, за допомогою яких виставляють фрези.

3.5.5. Прогресивні способи фрезерування

Для підвищення продуктивності і якості обробки застосовують наступні способи фрезерування.

Спосіб паралельного (одночасного) фрезерування декількох поверхонь однієї заготовки (рис. 3.81, а, б), або навіть декількох заготовок (рис. 3.81, в, г). При паралельній обробці скорочується як T_o , так і T_d , зв'язаний з переходом, приблизно в стільки разів, скільки фрез приймають участь у роботі, або скільки заготовок одночасно оброблюються.

Цей спосіб обробки застосовується, переважно, на горизонтально- і поздовжньо-фрезерних верстатах.

Спосіб послідовного фрезерування (рис. 3.82), коли декілька заготовок установлюють у ряд і фрезерують послідовно за один робочий перехід стола. Цей спосіб застосовують на поздовжньо-, вертикально- і

горизонтально-фрезерних верстатах з довгими столами, що дозволяють установлювати багато заготовок.

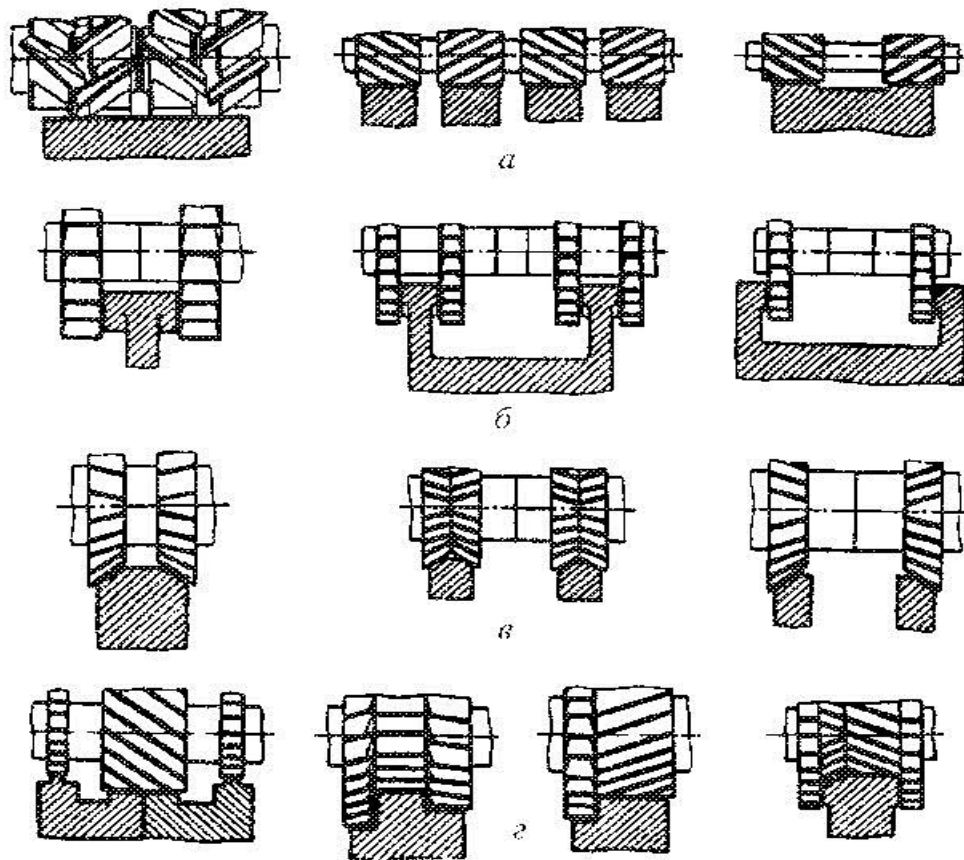


Рис. 3.81. Паралельне фрезерування наборами фрез

Він є основою принципу дії карусельно- та барабанно-фрезерних верстатів.

У цьому випадку зменшується допоміжний час на установку заготовки, котрий на усі заготовки, за виключенням першої, перекривається основним часом обробки, тому, що під час фрезерування однієї заготовки, оброблена знімається і

установлюється нова. Крім того, якщо заготовки розміщені близько одна від одної, скорочується доля T_o на врізання в заготовку, тому що фреза ще не вийшла з однієї заготовки, а уже врізалась в іншу.

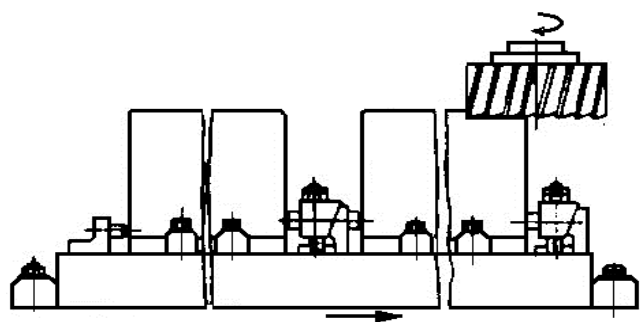


Рис. 3.82. Послідовне фрезерування

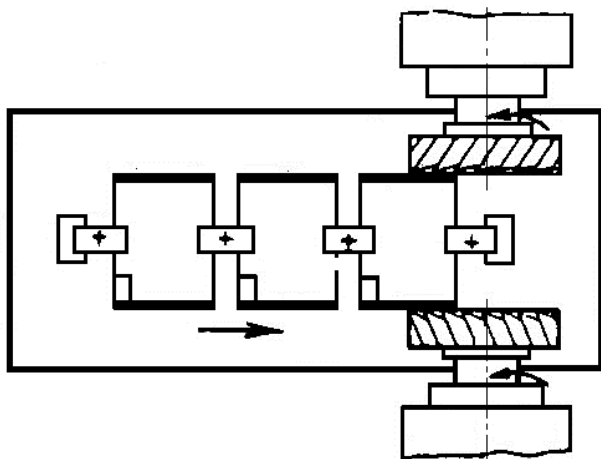


Рис. 3.83. Комбіноване фрезерування

установці за один хід стола оброблюються усі поверхні, паралельні до напрямку подачі стола. Після повороту стола на 90° , оброблюються усі інші бокові поверхні заготовок. Застосовують у ВСВ і МВ на горизонтально-фрезерних верстатах.

Комбінований, або паралельно-послідовний спосіб обробки застосовують у МВ і ВСВ при обробці невеликих заготовок, а також середніх за розміром заготовок при обробці на поздовжньо-фрезерних верстатах. Він об'єднує переваги (рис. 3.83) двох попередніх способів.

Позиційне фрезерування коли заготовки (рис. 3.84), установлюють на спеціальному поворотному столі. При такій

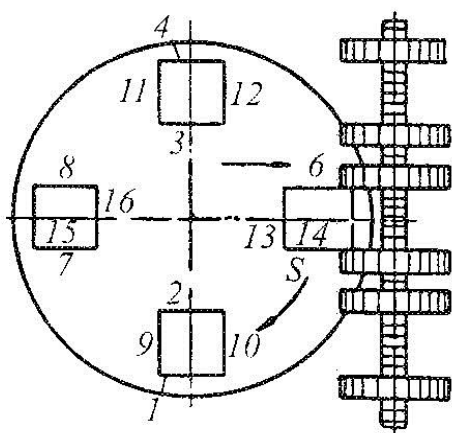


Рис. 3.84. Позиційне фрезерування

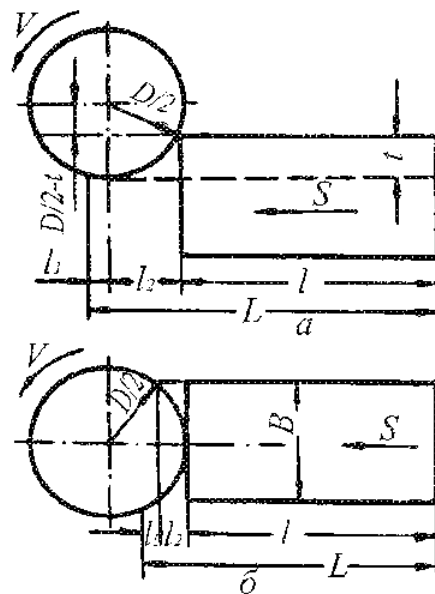


Рис. 3.85. Схеми для визначення довжини врізання фрези при циліндричному (а) та торцевому (б) фрезеруванні

Величина врізання при фрезеруванні (рис. 3.85, а) циліндричною фрезою визначається за формулою $l_1 = \sqrt{t(D-t)}$, де t – глибина різання, мм; D – діаметр фрези в мм.

Величина врізання при симетричному фрезеруванні торцевою фрезою (див. рис. 3.85, б) визначається за формулою $l_1 = 0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2})$, де B – ширина фрезеруємої поверхні.

Величина перебіга фрези l_2 береться від 1 до 5 мм в залежності від її діаметра.

3.5.6. Шляхи підвищення продуктивності праці на фрезерних верстатах

1. Застосування асиметричного фрезерування торцевими фрезами, при якому зменшуються ударні навантаження на зуби фрези. Це дозволяє до двох разів збільшити подачу на зуб.

2. При обробці відкритих пазів, замість фрезерування нежорсткими кінцевими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах, застосовувати обробку більш жорсткими дисковими фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах.

3. При обробці плоских поверхонь, необхідно застосовувати більш продуктивне і якісне торцеве фрезерування замість циліндричного. Воно дозволяє отримати більш чисту поверхню з R_a 1,25 мкм замість R_a 2,5 мкм.

4. По можливості, застосовують прогресивні способи фрезерування: паралельне, послідовне, комбіноване, позиційне.

5. Застосовувати швидкодіючі багатомісні пристрої з гідро- та пневмоприводом.

6. Застосовувати багатозубі торцеві фрези малих діаметрів, тому що при приблизно однаковій швидкості різання, частота обертання малих фрез більша, що приводить до зростання подачі $S_{xв}$.

8. У ССВ і МСВ застосовувати фрезерні верстати з ЧПК, які працюють за наперед заданою програмою, а також багатоцільові верстати.

9. По можливості застосовувати попутне фрезерування, особливо при обробці матеріалів, які дуже наклепуються (наприклад, нержавіючих сталей). Це приводить до підвищення стійкості фрез у 2–4 рази, і, відповідно, до підвищення продуктивності. При фрезеруванні „по кінці” попутне фрезерування не застосовувати, а тільки зустрічне.

3.5.7. Розрахунок режимів різання при фрезеруванні

Послідовність розрахунку режимів різання однакова для торцевих, циліндричних та інших фрез, тільки в формулах застосовують різні коефіцієнти.

Спочатку підбирають обладнання і інструмент (за довідниками).

Вибирають параметри і геометрію фрези. По можливості, застосовують торцеве фрезерування фрезами з пластинками з твердого сплаву типу ТК для обробки сталей і ВК – для обробки чавунів і кольорових сплавів. Діаметр фрези приймають мінімальним, що дозволяє підвищити продуктивність. Іноді застосовують асиметричне фрезерування.

Визначають глибину різання h для циліндричних, дискових і т.п. фрез, а для торцевих – глибину зрізаного шару. Необхідно намагатися зняти весь припуск за мінімальну кількість переходів ($D/B = 1,25-1,4$, де B – ширина фрезерування). Якщо з технологічних причин передбачається чорнова і чистова обробка, то знімають, відповідно, 65–75 % і 35–25 % припуску.

Визначають подачу. При фрезеруванні розрізняють подачу на один зуб – S_z , мм/зуб, на один оберт – S_o , мм/об і хвилинну подачу $S_{xв}$, мм/хв.

S_z – характеризує інтенсивність навантаження на зуб і є вихідною при чорновому фрезеруванні.

S_o – визначає шорсткість обробленої поверхні і є вихідною при чистовому фрезеруванні. За прийнятою S_o при чистовому фрезеруванні визначають S_z і $S_{xв}$.

$S_{xв}$ – характеризує основний час T_o , тобто продуктивність обробки.

Усі три подачі зв'язані залежностями:

$$S_{xв} = S_o n = S_z z n, \text{ мм/хв,}$$

де n – частота обертання фрези, хв^{-1} , z – число зубів фрези.

Основними факторами, що обмежують подачу, є задана шорсткість поверхні і точність обробки, властивості оброблюваного матеріалу, міцність і стійкість інструмента, жорсткість системи ВПД, потужність обладнання і міцність механізму подач.

При чорновому симетричному фрезеруванні сталі торцевими твердосплавними фрезами подача на зуб $S_z = 0,10 - 0,25$ мм/зуб, а для чавуну – $S_z = 0,15 - 0,40$ мм/зуб. При асиметричному фрезеруванні подача S_z може бути збільшена до 2-х разів.

При чистовому фрезеруванні площин твердосплавними фрезами, приймають $S_o = 0,20 - 0,90$ мм/об (що дає можливість забезпечувати шорсткість R_a 5–2,5 мкм), а при тонкому – $S_o = 0,15 - 0,30$ мм/об (забезпечується R_a 1,25–0,63 мкм).

За таблицями призначають період стійкості фрези T , хв. Для торцевих фрез він коливається в межах від 120 до 420 хв у залежності від діаметра фрези.

Визначають за емпіричною формулою колову швидкість різання, яку допускає інструмент.

Показники степеня для різних видів обробки наведені в таблицях нормативів [27]. Там же наведені позначення h і B (рис. 3.74) для різних способів обробки.

Поправочний коефіцієнт $k_v = k_{Mv} \cdot k_{fv} \cdot k_{iv}$ враховує, відповідно, вплив якості оброблюваного матеріалу, стану поверхні заготовки і матеріалу інструмента.

$$V_i = \frac{C_v \cdot D^{q_v} \cdot k_v}{T^m \cdot h^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{U_v} \cdot z^{P_v}}, \text{ м/хв},$$

де C_v – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу,

D – діаметр фрези, мм,

T – період стійкості фрези, хв,

h – глибина різання, мм,

S_z – подача, мм/зуб,

B – ширина фрезерування (різу), мм,

z – кількість зубів фрези.

З формули виходить, що зі збільшенням діаметра фрези допустима швидкість фрезерування збільшується, тому що зростає коловий крок між зубами. Тобто, при інших незмінних параметрах, зуб фрези менше часу знаходиться в контакті з заготовкою.

Зі збільшенням кількості зубів фрези (при інших незмінних умовах і постійній S_z), збільшується кількість зубів фрези, що одночасно знаходяться в контакті з заготовкою, що приводить до деякого зниження швидкості фрезерування. Вплив T , h і S не викликає сумнівів.

За розрахованою швидкістю визначають розрахункову частоту обертання фрези

$$n_i = \frac{1000 \cdot v_i}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1},$$

підбирають найближчу фактичну частоту обертання шпинделя верстата і визначають хвилинну подачу $S_{xв}$.

Визначають колову силу фрезерування

$$P_z = \frac{C_{Pz} \cdot h^{x_p} \cdot S_z^{y_p} \cdot B^{U_p} \cdot z}{D^{q_p} \cdot n^{\omega_p}} \cdot k_p, \text{ Н},$$

де n – фактична частота обертання шпинделя.

Ця формула подібна до формули для визначення P_z при точінні. Поправочний коефіцієнт k_p залежить від стану оброблюваного матеріалу.

Чому при збільшенні D сила фрезерування зменшується?

Очевидно, що при $z = const$ коловий крок між зубами збільшується, тобто зменшується кількість зубів, що одночасно знаходяться в контакті з заготовкою.

При збільшенні n (тобто швидкості різання), як і при точінні твердосплавними різцями, сила різання дещо зменшується.

Визначають обертальний момент на шпинделі верстата

$$M_k = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000}, \text{ Нм.}$$

Перевіряють верстат за потужністю

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{1000 \cdot 60}, \text{ кВт} \leq N.$$

Якщо потужність верстата недостатня, то в першу чергу зменшують швидкість різання, після подачу і, тільки в крайньому випадку, глибину різання.

У залежності від схеми обробки (рис. 3.85) визначають основний час фрезерування

$$T_o = \frac{L}{S_{\partial a}} = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{\partial a}}, \text{ хв.}$$

Для цього геометрично визначають шлях фрези L , що складається з довжини оброблюваної поверхні l , шляху врізання l_1 і шляху перебігу інструмента l_2 . При чистовому торцевому фрезеруванні шлях фрези збільшується на діаметр фрези.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Верстати фрезерної групи і найбільш часто використовувані з них?
2. Які особливості характерні сучасним фрезерним верстатам з ЧПК?
3. Застосовуваний фрезерний інструмент і способи його закріплення.
4. Які особливості застосовуваного інструмента на фрезерних верстатах?
5. Які види робіт виконують на фрезерних верстатах?
6. Як встановлюють і закріплюють заготовки на фрезерних верстатах?
7. Які застосовують прогресивні способи фрезерування?
8. Як підвищити продуктивність праці на фрезерних верстатах?
9. Яка послідовність визначення режимів різання при фрезеруванні?

3.6. Обробка на стругальних, довбальних і протяжних верстатах

Ці верстати відносяться до 7-ої групи і включають такі типи:

- 71... – поздовжньо- стругальні верстати з одним стояком,
- 72... – поздовжньо- стругальні верстати з двома стояками,

73... – поперечно-стругальні верстати,
74... – довбальні,
75... – протяжні горизонтальні верстати,
76... – нема типу,
77... – протяжні вертикальні верстати,
78... – немає типу, 79... – різні стругальні верстати.

Що спільного у цих верстатів? Це єдина група верстатів, у котрих траєкторія головного руху різання прямолінійна.

3.6.1. Обробка на стругальних верстатах

У чому суть процесу стругання? Різдцеві (або столу) надається прямолінійний поступово-зворотний рух різання з робочою швидкістю V_p і більш швидкий холостий хід V_x . Швидкість холостого ходу в 2–3 рази більше, ніж робочого ходу. У кінці кожного холостого ходу стіл з заготовкою (різдець) зміщується в поперечному напрямі на величину подачі S мм/2-й хід і процес різання відновлюється.

Стругальні верстати розділяються на поперечно-стругальні і поздовжньо-стругальні.

На поперечно-стругальних верстатах (мод. 7Д37 та ін.), „шепінгах”, повзун 7 (рис. 3.86) з різцем виконує ГРР V , м/хв, а стіл 4 з заготовкою – поперечний рух подачі S_n , мм/2-й хід повзуна. Супорт 6 з різцем має установочний поворот навколо горизонтальної осі, що застосовується для обробки поверхонь, розміщених під кутом. Крім того, супорт має вертикальну подачу S_v , а стіл – установочне вертикальне переміщення S_y . Хід повзуна поперечно-стругальних верстатів – до 1 м і вони призначені для обробки невеликих і середніх заготовок.

Поздовжньо-стругальні верстати (мод. 7212 та ін.) подібні до поздовжньо-фрезерних (рис. 3.87) але замість фрезерних головок на них установлюють від одного до чотирьох різцевих супортів. На цих верстатах ГРР виконує довгий стіл 2 з заготовками, а супорти з різцями можуть виконувати горизонтальну або вертикальну подачі. Крім того, траверса 10 має установочне вертикальне переміщення, а деякі різцеві супорти – установочний поворот навколо горизонтальної осі, що застосовується для обробки поверхонь, розміщених під кутом. На поздовжньо-стругальних верстатах можна оброблювати великі заготовки довжиною до 12 м і шириною до 4 м. Стругальні верстати застосовують в ОБ і МСВ.

Наявність холостих ходів в стругальних верстатах значно знижує їх продуктивність. Тому в масовому виробництві застосовують більш продуктивне обладнання – фрезерні і протяжні верстати.

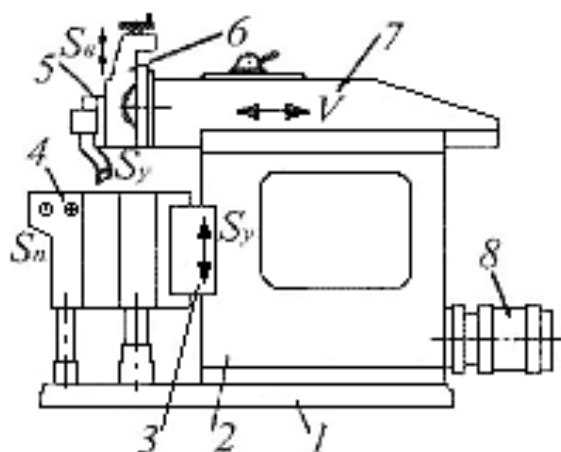


Рис. 3.86. Загальний вигляд поперечно-стругального верстата

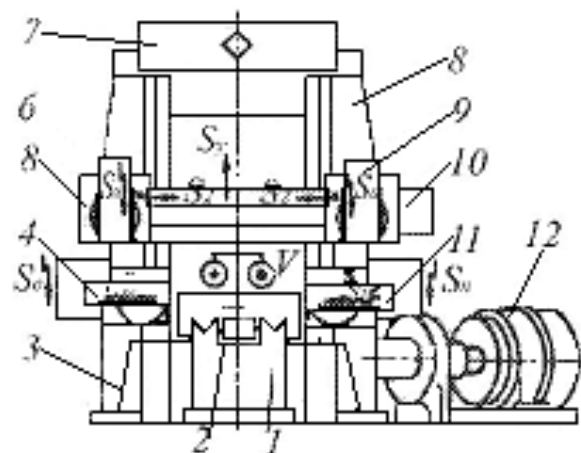


Рис. 3.87. Загальний вигляд поздовжньо-стругального верстата

Інструмент і його кріплення. На стругальних верстатах застосовують різці, які за формою і геометрією різальної частини не відрізняються від токарних різців (рис. 3.88).

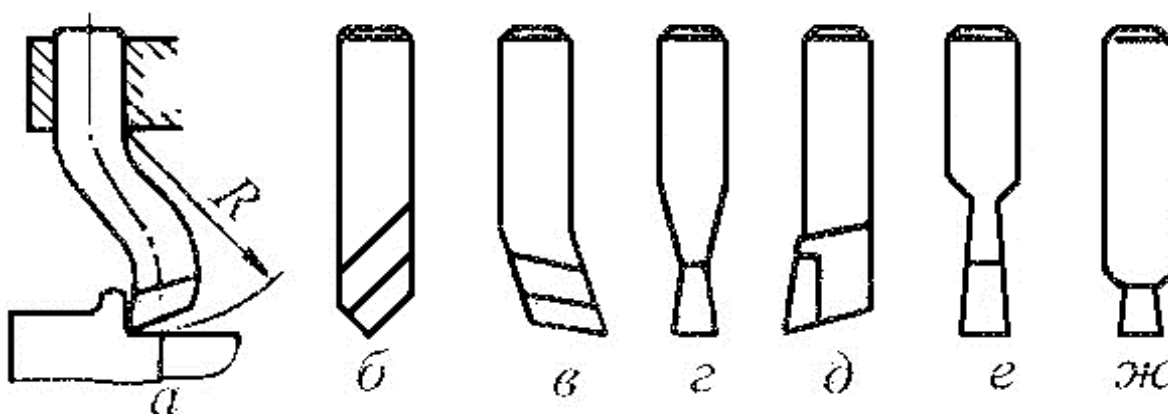


Рис. 3.88. Стругальні і довбальні різці

Але вони відрізняються кріпленням і, іноді, формою державки.

Щоб при холостому ході задня поверхня різця не поламалась при терті об оброблену поверхню, різець установлюють на відкидній плиті. Нові моделі верстатів забезпечують відведення різця від заготовки за допомогою електромагніту, вбудованого в супорт.

Якщо на стругальних верстатах застосовувати різці з прямими державками, то під дією сил різання вони будуть деформуватися і додатково врізуватися в заготовку (в мінус), тобто можна отримати невірний брак. При роботі відігнути різцем (рис. 3.88, а) небезпека ненормальної роботи усувається.

Установка заготовок і види виконуваних робіт.

При обробці на стругальних верстатах заготовки можуть установлюватися:

- безпосередньо на столі верстата з вивірянням за розміткою і кріпленням прихватами, болтами, планками і т. п. (переважно великі і середні заготовки);
- в універсальних пристроях лещатах (переважно при обробці невеликих заготовок);
- рідко в спеціальних пристроях.

На стругальних верстатах виконують такі види робіт (рис. 3.89):

- стругання горизонтальних (а, б) або вертикальних (б, г) площин, довбання вертикальних – (в);
- стругання наскрізних пазів різної форми (д);
- довбання вертикальних фасонних лінійчатих поверхонь (е) за допомогою спеціального пристрою;
- стругання довгих та коротких нахилених поверхонь (ж);
- прорізування дрібних зубів (з);
- стругання лінійчатих фасонних поверхонь за копіром (і);
- довбання пазів в отворах (к) тощо.

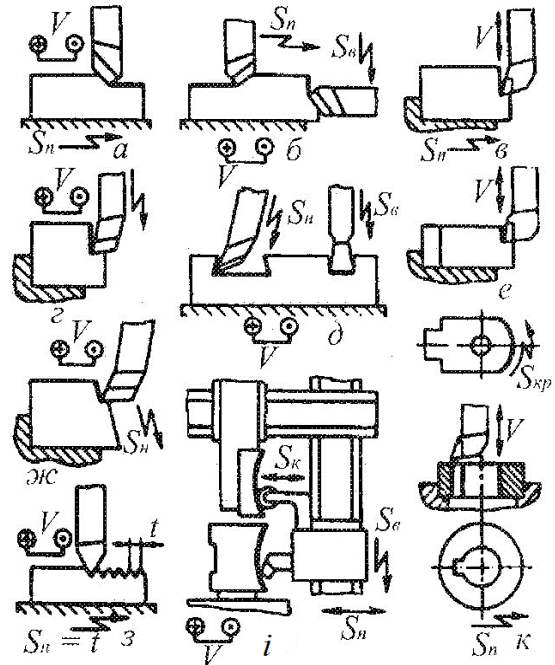


Рис. 3.89. Види робіт, виконуваних на стругальних і довбальних верстатах

Струганням можна отримувати поверхні 11 і навіть 9-го квалітетів точності з шорсткістю до R_a 0,63–0,32 мкм при чистовому струганні широким різцем, тобто можна замінити шліфування або шабрування.

Достоїнства стругання: простота верстатів, інструменту і обробки. Недоліки: низька продуктивність, тому що обробка виконується переважно одним різцем і наявні холості ходи. Звичайно, стругання стараються замінити більш продуктивними способами обробки – фрезеруванням, поздовжнім протягуванням.

Шляхи підвищення продуктивності обробки при струганні:

- завдяки застосуванню одночасної обробки декількома різцями в одній оправці (блоком різців), або знімання великого припуску за один перехід;
- за допомогою одночасної роботи декількох супортів на поздовжньо стругальних верстатах;

- застосуванням широких різців і великих подач (до 20 і більше мм/2х) при чистовому струганні;
- шляхом установки на довгому столі верстата декількох заготовок у ряд;
- за допомогою застосування спеціальних пристроїв;
- шляхом застосування шаблонів для прискореного налагодження верстатів.

Довбальні верстати (мод.7Д430 та ін.), на відміну від стругальних, мають довбач, котрий виконує вертикальний поступально-зворотний рух. Заготовка установлюється на горизонтальному столі верстата, який має подачі в двох взаємно-перпендикулярних напрямках. Крім того, стіл може мати установочний поворот навколо вертикальної осі. Їх застосовують для довбання шпонкових канавок, шліцевих пазів тощо в ОВ і МСВ після засвердлювання отворів.

3.6.2. Обробка на протяжних верстатах

Протягування широко застосовується в МВ і ВСВ для обробки наскрізних внутрішніх (замкнутих) і зовнішніх (відкритих) поверхонь різного профілю. Цим способом можна отримувати поверхні 7-го квалітету точності з шорсткістю до R_a 0,63–0,32 мкм.

При внутрішньому протягуванні в заготовці необхідно попередньо підготувати наскрізний отвір. Внутрішнім протягуванням оброблюють круглі і шліцеві отвори, шпонкові канавки, квадратні і багатогранні отвори, гвинтові канавки тощо. При протягуванні гвинтових канавок або різьб протяжка може обертатися примусово або під дією сил різання. Найчастіше протягують отвори діаметром 10–75 мм і довжиною до 3-х діаметрів. На рис. 3.90 (а, б, в) показані схеми внутрішнього протягування.

Зовнішнє протягування застосовується замість фрезерування, стругання, шліфування при обробці площин, складних фасонних поверхонь типу замків шатунів, замків турбінних лопаток, зубів шестерень тощо. Звичайно, зовнішнім протягуванням оброблюють відкриті контури.

Відомий випадок замкнутого протягування зубчастих коліс, але він себе не виправдав через складність інструмента. На рис. 3.90 (е, з, ж) показані схеми зовнішнього протягування.

Протягування – чистова операція. Воно продуктивніше стругання, фрезерування, розгортання в 2–3 і більше разів. Висока продуктивність пояснюється великою сумарною довжиною різальних кромок, які одночасно приймають участь в роботі (тобто глибиною різання), і значною хвилинною подачею. Недоліком протягування є висока вартість і складність виготовлення протяжок.

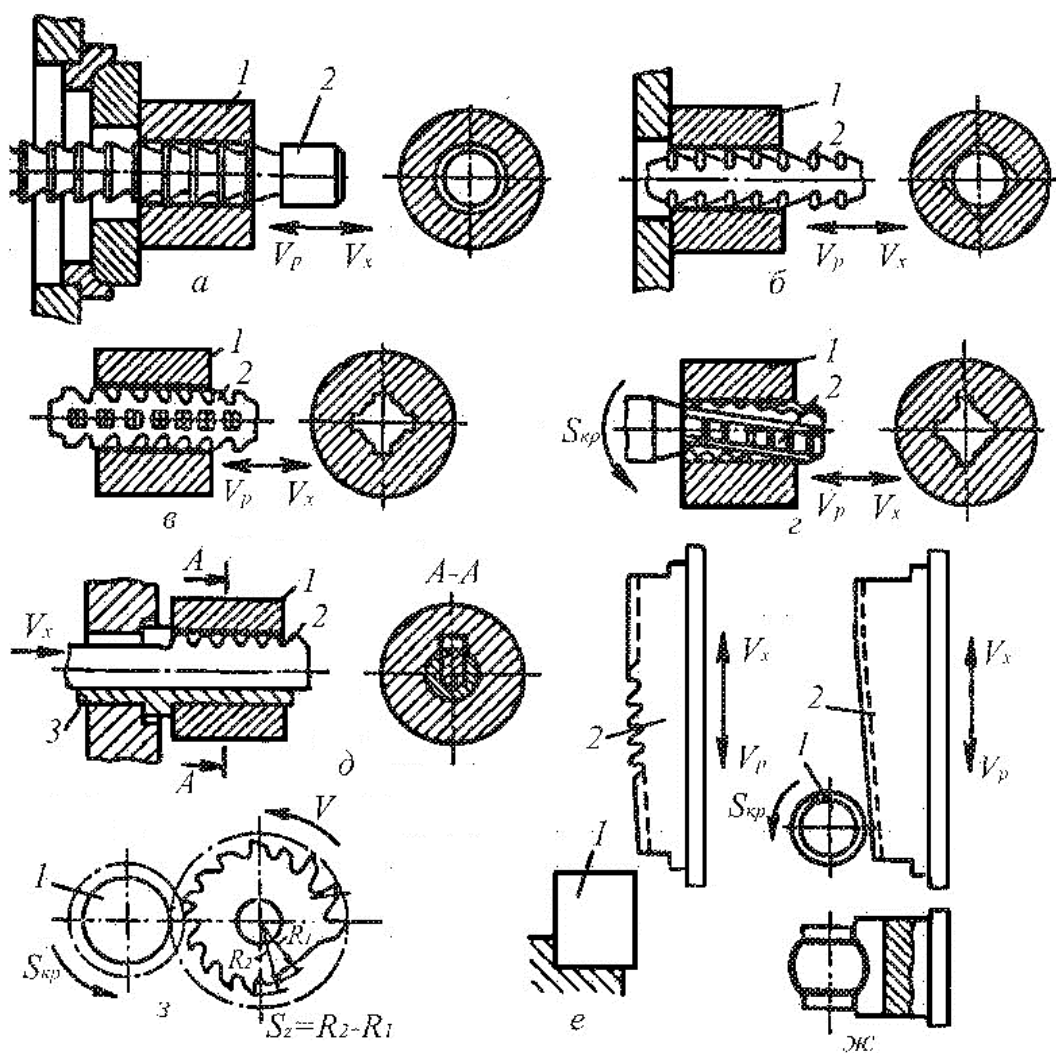


Рис. 3.90. Схеми обробки поверхонь заготовок на протяжних верстатах

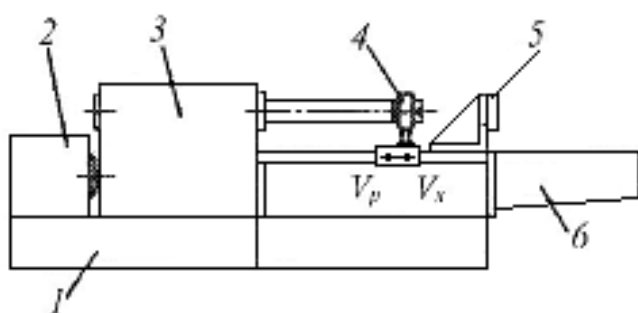


Рис. 3.91. Загальний вигляд горизонтально-протяжного верстата

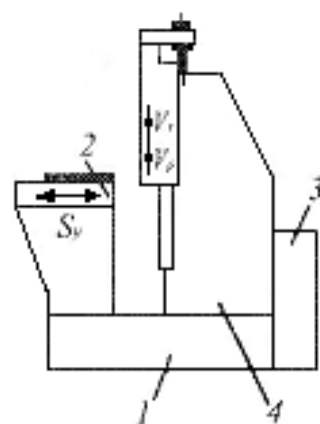


Рис. 3.92. Загальний вигляд вертикально-протяжного верстата

Протяжні верстати діляться:

- за призначенням – для внутрішнього і зовнішнього протягування;
- за напрямом головного руху різання – на горизонтальні та вертикальні;
- за кількістю кареток – з однією, двома і декількома каретками.

Звичайно зусилля протягування до 40 т, але є верстати з зусиллям протягування до 120 т.

Головним рухом різання в протяжних верстатах є прямолінійний рух протяжки. Руху подачі немає, а зрізування металу проходить за рахунок того, що наступні різальні зуби протяжки вищі за попередні, тобто передбачена скрита подача.

Горизонтально-протяжний верстат (рис. 3.91) має станину 1, електропривод 2, гідроциліндр 3, підвижну каретку 4 і опорну плиту 5 (мод. 7Б510 та ін.).

Вертикально-протяжний верстат (рис. 3.92) має станину 1, рухомий стіл 2 з заготовкою, каретку 3, колону 4.

Види виконуваних робіт наведені на рис. 3.90.

Інструмент та його особливості. Схеми протягування.

Протяжка для протягування круглих отворів показана на рис. 3.93, а. Протяжка складається з хвостовика l_1 , шийки l_2 , передньої направляючої частини l_3 , різальної частини l_4 , калібруючої частини l_5 і задньої направляючої частини l_6 .

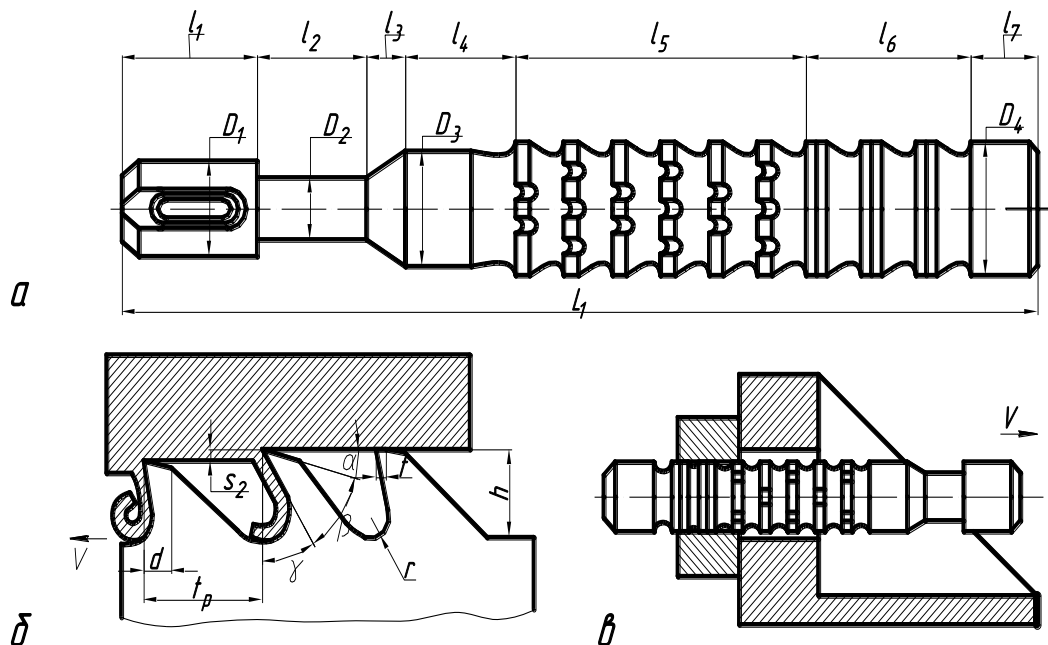


Рис. 3.93. Загальний вигляд круглої протяжки

Розглянемо два різальні і один калібрувальний зуб (рис. 3.93, б). Передні кути γ на різальних і калібруючих зубах протяжки однакові і дорівнюють $12 - 20^\circ$ при обробці сталей і $5-10^\circ$ – чавунів. Для того, щоб розмір протяжки при переточуванні по передній грані зменшувався незначно, задні кути на калібрувальній частині $\alpha_k = 0,5-1^\circ$ і калібрувальні зуби мають стрічку $f \leq 0,2$ мм.

Крок t_p між зубами повинен бути таким, щоб в роботі одночасно приймало участь не менше 4–5 зубів і щоб у западинах між зубами вільно розміщувалась зрізана стружка. Для розділення стружки різальні зуби прорізані осьовими канавками, розміщеними в шаховому порядку. Кількість калібруючих зубів складає 4–8 і вони служать резервом при переточуванні.

При протягуванні можуть бути використані три схеми різання:

а) профільна, б) генераторна і в) прогресивна.

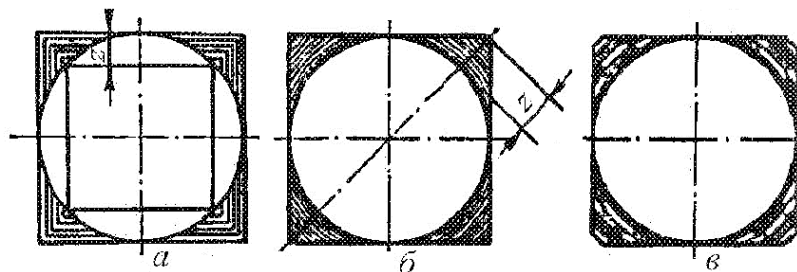


Рис. 3.94. Профільна (а), генераторна (б) та прогресивна (в) схеми протягування

а). Профільна схема (рис. 3.94, а), коли профіль кожного зуба подібний до профілю обробленої поверхні. Ця схема різання забезпечує високу якість обробленої поверхні, тому що вона утворюється одним лезом. Її недоліки: складність виготовлення протяжки, виникають великі сили різання через велику загальну довжину різальних кромek (іноді можна порвати протяжку), велика довжина протяжки.

б). Генераторна схема різання (рис. 3.94, б), коли кожен зуб протяжки бере участь в остаточній обробці поверхні, тобто вона утворюється великою кількістю зубів. Профіль різальних зубів не подібний до кінцевого профілю поверхні. Ця протяжка значно простіша у виготовленні, але шорсткість обробленої поверхні вища, ніж при профільній схемі різання.

в). Прогресивна схема різання (рис. 3.94, в), коли стружка знімається у вигляді секторів, розміщених у шаховому порядку. У зв'язку з тим, що товщина зрізу кожним зубом більша, а загальна довжина різальних кромek відносно невелика, то це приводить до зменшення габаритів протяжки до 3-х разів і підвищення її стійкості. Зменшуються сили різання.

Незважаючи на складність виготовлення інструмента, прогресивна схема різання широко застосовується. Часто застосовують протяжки з комбінованими схемами протягування.

Базування заготовки і інструмента.

При внутрішньому протягуванні (рис. 3.90, б) заготовка 1 одягається на направляючу частину протяжки 2 і притискається силами різання до опорної плити. Якщо торець заготовки оброблений неякісно, то вона опирається в сферичну опору-шайбу (рис. 3.90, а) і самоустановлюється в процесі обробки.

При зовнішньому протягуванні (рис. 3.90, е) і внутрішньому координатному, тобто коли треба витримати певне положення осі отвору, і заготовка і інструмент кріпляться жорстко.

При протягуванні шпонкових пазів (рис. 3.90, д) в отворах застосовують направляючі втулки-адаптери 3, які мають паз для направлення протяжки. Втулка кріпиться в опорній плиті верстата. Заготовка одягається на втулку, в паз в котрій вставляють протяжку.

Верстати для внутрішнього протягування важко автоматизувати, тому що необхідно протяжку перехоплювати. Верстати для зовнішнього протягування автоматизуються легко.

Режими різання при протягуванні.

Протяжки виготовляють з легованих інструментальних сталей типу ХВГ, 9ХС, швидкорізальних сталей Р6М5, Р6М3 та інших, рідше твердосплавними.

Глибина різання і подача на зуб обумовлюються конструкцією протяжки. Звичайно подача $S_z = 0,02-0,12$ мм/зуб, а при прогресивній схемі різання сягає $0,3-0,5$ мм/зуб. Глибина різання при профільній схемі різання дорівнює сумарній довжині контурів зубів, що одночасно беруть участь в роботі, а для інших схем різання розраховується.

Швидкість різання при протягуванні значно менша, ніж при інших видах обробки. Протяжки з швидкорізальні сталі дозволяють здійснювати протягування з $V \leq 35-40$ м/хв, а твердосплавні протяжки, оснащені пластинами ВК6М – до $100-120$ м/хв, існуючі протяжні верстати забезпечують швидкість різання до $12-15$ м/хв. Для забезпечення низької шорсткості обробленої поверхні іноді $V = 1-2$ м/хв.

Отвори під протягування рекомендується свердлити або зенкерувати. Можна протягувати і прошиті при штампуванні отвори. Литі отвори протягувати „по кірці” не рекомендується через низьку стійкість протяжок.

Крім протягування іноді застосовують прошивання, коли інструмент працює на стискання. Прошивка працює на стиск, довжина її обмежена $250-400$ мм і вона може мати поздовжній вигин. Тому прошивки зазвичай застосовуються для напівчистої правки циліндричних отворів.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які види стругальних верстатів застосовують в машинобудуванні?
2. Який інструмент застосовують на стругальних верстатах?
3. Які особливості кріплення інструменту на стругальних верстатах?
4. Як встановлюють заготовки на стругальних верстатах?
5. Які види робіт виконують на стругальних верстатах?
6. Як підвищити продуктивність обробки при струганні?
7. За якими ознаками поділяють протяжні верстати?
8. Які види робіт виконують при протягуванні?
9. Як встановлюють інструмент на протяжних верстатах?
10. Назвіть особливості протяжного інструменту?
11. Які схеми різання використовують при протягуванні?
12. Яка особливість визначення режимів різання при протягуванні?

3.7. Обробка на шліфувальних верстатах

3.7.1. Класифікація шліфувальних верстатів

Шліфувальні верстати відносяться до третьої групи верстатів, яка включає такі типи:

- 31... – круглошліфувальні (для обробки зовнішніх поверхонь обертання),
- 32... – внутрішньошліфувальні (для обробки внутрішніх поверхонь обертання),
- 33... – обдирно-шліфувальні,
- 34... – спеціалізовані шліфувальні для обробки валів,
- 35... – немає типу,
- 36... – заточувальні,
- 37... – плоскошліфувальні,
- 38... – притиральні та полірувальні,
- 39... – різні верстати, що працюють абразивом.

Найширше застосовують кругло-, внутрішньо- і плоскошліфувальні верстати.

Шліфування застосовується переважно після чорнової та чистової обробки поверхонь лезовим інструментом для остаточної обробки заготовок шляхом знімання з їх поверхонь тонкого шару металу абразивними шліфувальними інструментами. Однак, останнім часом, у зв'язку з розвитком способів отримання заготовок з малими припусками на обробку, шліфування застосовують також для чорнової і напівчистої обробки.

Різальний інструмент – пористі круги або бруски, що складаються з зерен абразиву, які скріплені зв'язкою.

При обертанні круга (рис. 3.95, а) безладно орієнтовані зерна зрізають дуже маленькі тонкі стружки у вигляді ком (як і при фрезеруванні) з дуже великою швидкістю. У результаті величезної кількості зерен, високої швидкості різання, малого перерізу стружки і рясного охолодження МОР, отримують високу точність і низьку шорсткість оброблених поверхонь. Велика перевага шліфування – можливість оброблювати дуже тверді матеріали типу загартованих сталей тощо.

3.7.2. Шліфувальні інструменти

Їх класифікують: за матеріалом абразиву, за зернистістю, за видом зв'язки, за твердістю, за структурою, за формою і розмірами.

Абразивні матеріали (табл. 3.2) розділяються на природні (алмаз, найтвердіший в природі мінерал з мікротвердістю приблизно 100000 МПа, наждак, кварц, корунд та ін.) та синтетичні. Природні абразивні матеріали, за виключенням технічних алмазів, не застосовуються. З синтетичних абразивних матеріалів найширше застосовують наступні.

Таблиця 3.2

Фізико-механічні властивості основних абразивних матеріалів [1]

Абразивний матеріал	Мікротвердість, МПа	Термостійкість, °С	Відносна абразивна здатність*
Електрокорунд:			
нормальний	18000-22000	1250-1300	0,20
білий	20000-21000	1700-1800	0,20
хромистий	20000-22000	1700-1800	0,21
титанистий	22000-23000	1750-1850	0,15
цирконієвий	23000-24000	1900-2000	0,30
монокорунд	21000-26000	1700-1800	0,21
Карбід кремнію:			
чорний	28000-26000	1300-1400	0,55
зелений	28000-26000	1300-1400	0,60
Карбід бору	33000-45000	700-800	0,71
Кубічний нітрид бору	73000-95000	1200-1500	0,80
Синтетичні і натуральні алмази	80000-100000	700-850	1,00

*Примітка. Відносна абразивна здатність наведена відносно абразивної здатності алмазу, яку прийнято за одиницю.

Електрокорунд білий 22А-25А, що містить 96-99 % глинозему Al_2O_3 . Високоякісний, білого, світло-рожевого або світло-сірого кольору.

Рекомендується для шліфування конструкційних вуглецевих і легованих, термічно оброблених і сирих сталей, а також для шліфування і заточування інструменту з швидкорізальних сталей. Його мікротвердість біля 20000 МПа.

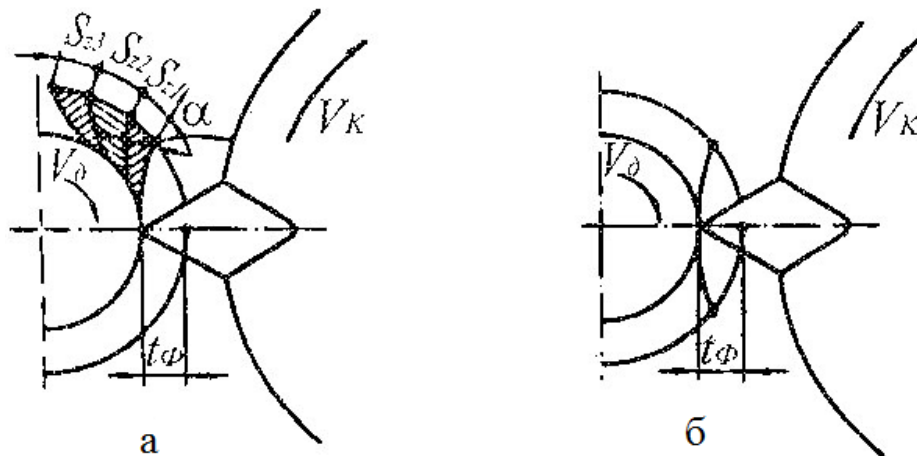


Рис. 3.95. Форми зрізів при шліфуванні

Карбід кремнію зелений 62С - 64С, що містить 96-99 % карбіду кремнію SiC . Зеленого кольору, отримують з кремнезему. Рекомендується для шліфування твердих і крихких матеріалів типу чавуну, кольорових сплавів, бронз, скла, для заточування інструменту з твердих сплавів. Його мікротвердість біля 30000 МПа.

КБ – карбід бору B_4C , дуже твердий (мікротвердість становить біля 40000 МПа), але дуже крихкий. Тому застосовується для виготовлення паст для доводки твердосплавного інструменту.

Останнім часом широко застосовують надтверді матеріали на базі кубічного нітриду бору – *КНБ* (ельбор, кубоніт, ісміт, боразон) з мікротвердістю біля 80000 МПа, а також синтетичні алмази *АС* (*АСО* – звичайної міцності, *АСВ* – високої, *АСС* – середньої і ін.) з мікротвердістю біля 100000 МПа і вищою. Але *КНБ* має більш закруглені різальні кромки, ніж *АС*. Їх застосовують для обробки і заточування різальних інструментів з швидкорізальних сталей (*КНБ*) і з твердих сплавів (*АС*).

Як абразивний матеріал для виготовлення порошків і паст використовують окис хрому зеленого кольору, окис заліза червоного кольору, віденське вапно (дуже тонкий порошок) та ін.

Зернистість абразивних матеріалів визначається за розміром комірок у ситі, в якому затримується даний абразив при просіюванні. За величиною зерна абразивні матеріали розділяються на шліфувальне зерно (№ 200, ... , 20, 16), шліфувальний порошок (№ 12, ... , 3) і мікропорошок (М40, ..., М5). Розмір 16 для шліфувального зерна і шліфувального порошку означає, що зерно при просіюванні проходить через сито з діаметрами отворів 200 мкм і затримується в ситі з отворами діаметром 160 мкм. Номер зерна мікропорошку М40 означає, що максимальний його лінійний розмір – до 40 мкм. Для надтонкої обробки застосовують порошки „мінутники”. Їх отримують шляхом відстоювання порошоків, що пройшли через усі сита, у воді. Наприклад, 10-ти „мінутники” – ті, що осіли через 10 хв після перемішування.

Зв'язки розділяються на тверді (еластичні і нееластичні), що застосовуються для виготовлення кругів і брусків, і рідкі, що застосовуються для паст.

З твердих зв'язок найширше застосовуються наступні.

К – керамічна зв'язка на основі різних глин. Це універсальна зв'язка, добре зберігає профіль круга. За водо-, вогне- і хімічною стійкістю перевершує усі інші зв'язки, круги самозаточуються, але вона крихка і не забезпечує дзеркальної поверхні обробки. Біля 70 % усіх кругів виготовляють на керамічній зв'язці.

Особлива перевага керамічної зв'язки в тому, що вона забезпечує самозагострюваність круга і він не засалюється. Тобто, легко підібрати такий склад керамічної зв'язки, що при затупленні зерна в результаті росту сил різання воно виривається з круга. При інших зв'язках забезпечити самозагострюваність кругів важко. У зв'язку з крихкістю, керамічна зв'язка непридатна для виготовлення вузьких фасонних, різьбонарізних і відрізнних кругів.

С – силікатна зв'язка на основі рідкого скла. Погано схоплюється з абразивом, хоч досить міцна і забезпечує мале нагрівання виробу.

Б – бакелітова зв'язка на основі фенолформальдегідної смоли. Круги мають високу твердість і пружність. Застосовують для тонких кругів великого діаметра, прорізнних, фасонних тощо.

В – вулканітова зв'язка на основі синтетичного каучуку. Застосовують для виготовлення вузьких відрізнних кругів, гнучких зачистних і полірувальних, ведучих кругів при безцентровому шліфуванні.

М – металева зв'язка на основі міді та інших кольорових металів. Застосовується для виготовлення інструментів з синтетичних алмазів і ельбору.

Як рідкі зв'язки для паст застосовують воду, масла, гліцерин, гас, вазелін, скипидар тощо.

Твердість круга визначається здатністю зв'язки чинити опір вириванню зерна з круга і залежить від кількості і якості зв'язки в крузі. При дуже твердому крузі зерна затуплюються не вирываючись, що приводить до засалювання круга і появи припалів на деталі. М'які круги швидко втрачають форму і розміри.

Шліфувальні круги бувають: м'які – *М* (*М1, М2, М3*), середньом'які – *СМ* (*СМ1, СМ2*), середні – *С* (*С1, С2*), середньотверді – *СТ* (*СТ1, СТ2, СТ3*), тверді – *Т* (*Т1, Т2*), дуже тверді – *ВТ* (*ВТ1, ВТ2*) і надзвичайно тверді *ЧТ* (*ЧТ1, ЧТ2*). Кожна група кругів розділяється на підгрупи.

Для обробки твердих матеріалів застосовують м'які круги з твердим абразивним матеріалом, а для обробки відносно м'яких матеріалів – тверді круги.

Структура круга характеризує відношення між об'ємами зерен, зв'язки і пор у тілі інструмента. Вона може бути від 0 до 12 номера з вмістом абразивних зерен за об'ємом, відповідно, від 62 до 38 %. Дані структури ще називають: щільна, середня, відкрита.

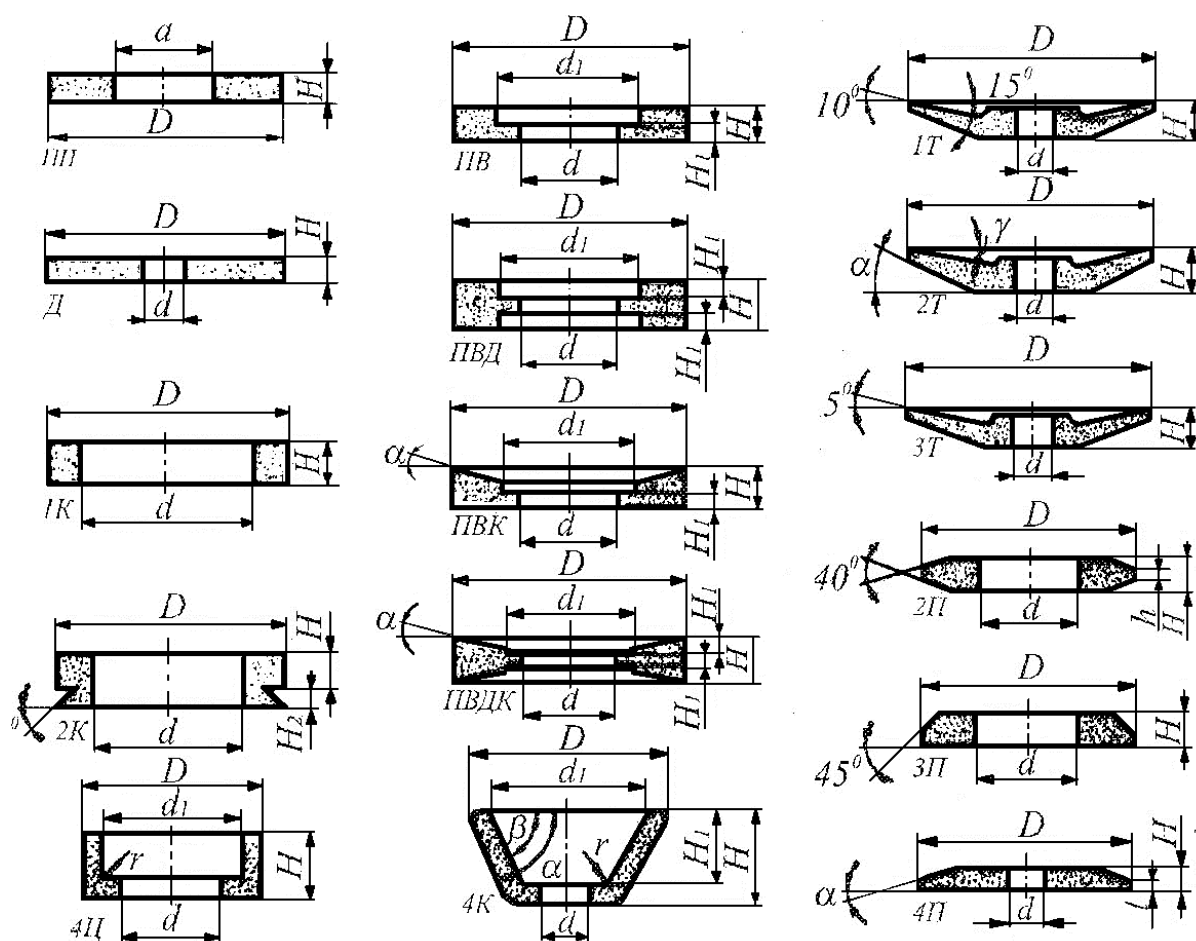


Рис. 3.96. Типи шліфувальних кругів

За формою і розмірами абразивні інструменти розділяються на такі:

- шліфувальні круги (рис. 3.96) різних типів (плоскі прямого профілю, плоскі конічного профілю, дискові, тарілчасті, чашкові циліндричні, чашкові конічні тощо);
- головки для внутрішнього шліфування (циліндричні, конічні, кутові, склеписті тощо);
- бруски шліфувальні для слюсарних і хонінгувальних робіт (прямокутні, квадратні, тригранні, круглі, ромбічні тощо);
- сегменти шліфувальні різних форм і розмірів.

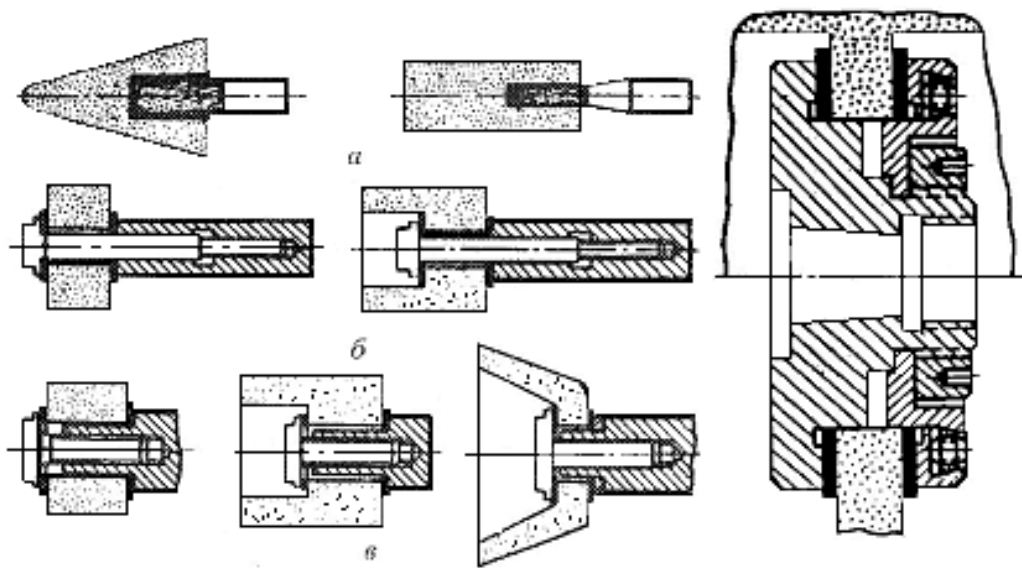


Рис. 3.97. Способи кріплення шліфувальних кругів на шпинделі

Приклад позначення шліфувального круга:

- ПП1 300x75x65 24А 60 СМ1 К5, де ПП1 – плоский, прямого профілю;
- 300x75x65 – розмір $D \cdot d \cdot B$, мм; 24А – матеріал абразива;
- 60 – зернистість; СМ1 – твердість; К – зв'язка;
- 5 – структура. Крім того, на кругах указують допустиму частоту обертання.

3.7.3. Основні види шліфувальних робіт

Найширше розповсюджені наступні види шліфувальних робіт.

Зовнішнє кругле шліфування.

Воно виконується на круглошліфувальних верстатах і має такі різновидності:

- зовнішнє кругле шліфування з поздовжньою подачею,
- зовнішнє кругле шліфування з поперечною подачею (врізне),
- зовнішнє кругле безцентрове шліфування.

Внутрішнє кругле шліфування виконується на внутрішньо-шліфувальних верстатах і має такі різновидності:

- внутрішнє шліфування з поздовжньою подачею;
- внутрішнє шліфування з поперечною подачею (врізне);
- внутрішнє планетарне шліфування.

Плоске шліфування виконується на плоскошліфувальних верстатах і має такі різновидності:

- плоске шліфування периферією круга;
- плоске шліфування торцем круга.

3.7.4. Зовнішнє кругле шліфування з поздовжньою подачею

Застосовується для обробки гладких і ступінчастих, циліндричних і конічних поверхонь обертання в ОВ і СВ.

Круглошліфувальний верстат (рис. 3.98) має станину 1, стіл 2, передню бабку 3, шліфувальну бабку 4 і задню бабку 5 (мод. 3У10В, 3А110В, 3М150, 3М153А, 3Т153Е та ін.). Застосовують також круглошліфувальні верстати з ЧПК (мод. 3М151Ф2 та ін.).

У всіх шліфувальних верстатів головним рухом різання (ГРР) є обертання шліфувального круга V_k , м/с (рис. 3.99, а).

У круглошліфувальних верстатів передбачені такі рухи подачі:

- кругова подача заготовки $S_{кр}$, отримувана в результаті обертання заготовки і вимірювана в м/хв;
- поздовжня подача – $S_{позд}$ отримувана в результаті поступово-зворотного руху стола з заготовкою. Вона вимірюється в долях ширини круга B на один оберт заготовки, в мм/об заготовки або в м/хв;
- поперечна подача круга S_n (періодична подача на глибину різання h), яка вимірюється в мм/2-й хід стола.

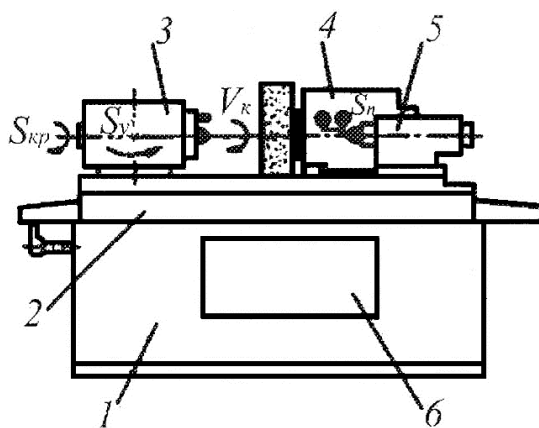


Рис. 3.98. Загальний вигляд круглошліфувального верстата

Довжина шліфування з поздовжньою подачею, становить зазвичай, більша 80 мм. Мінімальний діаметр шліфування в центрах обмежується

жорсткістю заготовки. Для підвищення жорсткості застосовують люнети, аналогічні до токарних люнетів.

Оброблювана заготовка може установлюватися в нерухомих центрах (у токарних верстатів передній центр завжди обертається з шпинделем), у цанзі, на оправці, в спеціальному пристрої тощо.

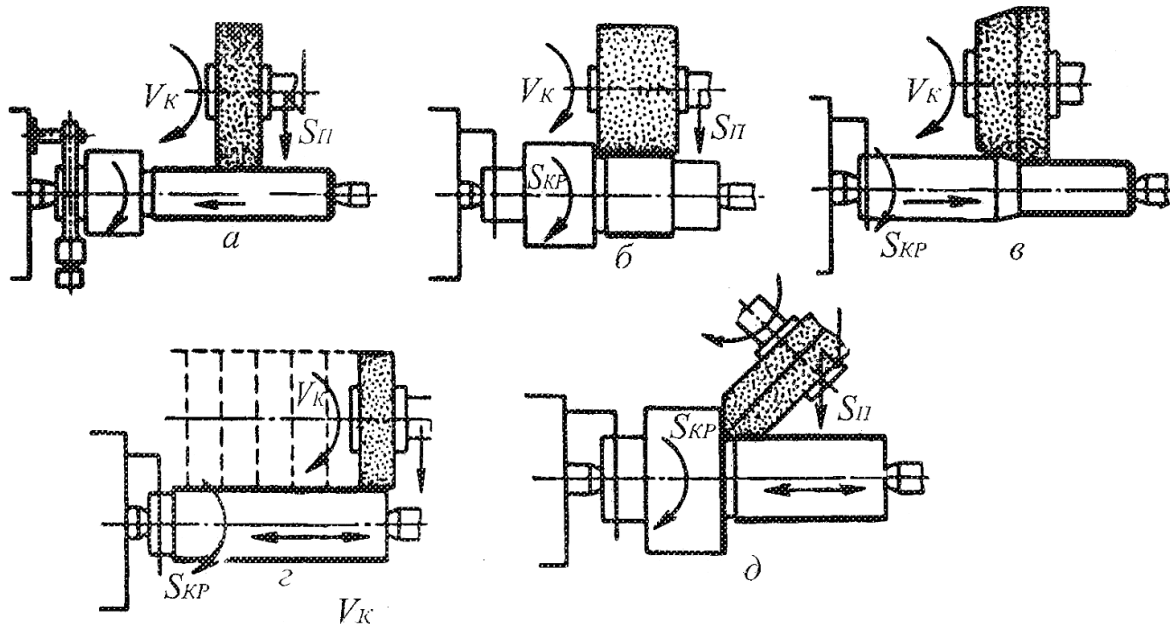


Рис. 3.99. Схеми обробки заготовок на круглошліфувальних верстатах

При звичайному точному шліфуванні зовнішніх циліндричних поверхонь, виконуваному зі швидкістю $V_k = 25\text{--}35$ м/с, $S_{кр} = 20\text{--}40$ м/хв, $S_{позд} = (0,5\text{--}0,8)$ В/об. заг., $S_n = h = 0,005\text{--}0,02$ мм/2-й хід стола, досягається точність 7 квалітету з шорсткістю $R_a = 1,25\text{--}0,32$ мкм.

Тонке шліфування, яке повинно виконуватися м'якими дрібнозернистими кругами (іноді з графітовим наповнювачем) при високій швидкості $V_k \leq 40$ м/с, малій круговій подачі $S_{кр} \leq 10$ м/хв, поздовжньої подачі $S_{позд} = (0,2\text{--}0,5)$ В/об. заг. і малою $S_n \leq 0,005$ мм/2-й хід стола, дозволяє отримувати поверхні 5-го квалітету точності з шорсткістю поверхні $R_a 0,16\text{--}0,08$ мкм. Точність обробки суттєво залежить від якості підготовки центрових отворів і жорсткості заготовки.

Для забезпечення високої якості обробки передбачають „період виводу іскри”, коли верстат працює без поперечної подачі круга, а стружка зрізається за рахунок пружного відновлення системи ВПД. Цей період може складати до 30 % від основного часу обробки. *Зовнішні конічні поверхні* обертання оброблюють шляхом повороту стола з закріпленою в центрах заготовкою відносно направляючих стола верстата, або шляхом

повороту передньої бабки з консольно закріпленою заготовкою відносно шліфувальної бабки.

Глибинне шліфування (рис. 3.99, в) – це різновидність зовнішнього шліфування з поздовжньою подачею, яке характеризується значними глибинами різання $h = 0,1\text{--}0,4$ мм. У цьому випадку круг заточується на конус і весь припуск зрізається за один перехід. Застосовується для обробки коротких, жорстких заготовок.

3.7.5. Зовнішнє кругле шліфування з поперечною подачею

Шліфування методом врізання найчастіше застосовують при обробці кругом фасонних, а також коротких жорстких деталей. Це шліфування до упору, яке застосовується при обробці відносно коротких заготовок широким кругом (рис. 3.99, б), більшим довжини деталі на 1–1,5 мм. При цьому обробка виконується відразу по всій поверхні заготовки, яка може сягати до 300 мм. Одночасне шліфування декількох поверхонь методом врізання може бути здійснено фасонним кругом з подачею його під кутом (рис. 3.99, д). Тому цей метод шліфування відрізняється високою продуктивністю і застосовується переважно в МВ і ВСВ.

Шліфувальний круг, крім головного обертального руху різання V_k , отримує безперервний рух поперечної подачі S_n . Щоб не було місцевого зносу круга, що негативно вплинуло би на точність обробки, шліфувальна бабка або стіл верстата можуть виконувати осцилюючий рух, паралельний до осі заготовки. Заготовка отримує кругову подачу $S_{кр}$. Шліфування виконується з поперечною подачею $S_n = 0,001\text{--}0,01$ мм/об заготовки.

При врізному шліфуванні застосовують верстати з декількома врізними бабками для обробки декількох поверхонь, а також шліфуванні набором фасонних кругів. При цьому виділяється багато тепла, тому шліфування здійснюють з рясним охолодженням.

3.7.6. Зовнішнє кругле безцентрове шліфування з наскрізною подачею

Безцентрово-шліфувальні верстати (рис. 3.100, а) мають два абразивні круги, що обертаються в одну сторону (лінійні швидкості в зоні контакту з заготовкою направлені в різні сторони): великий шліфувальний круг 1 на керамічній зв'язці, що обертається з швидкістю V_k , і малий ведучий круг 4 на вулканітовій зв'язці, що обертається з швидкістю $V_{в.к}$ (мод. 3М182 та ін.).

Шліфування з наскрізною подачею виконується пропусканням заготовок 3 між цими кругами, установленими на віддалі, меншій від діаметра заготовки на величину припуску на обробку, який зрізається за

один перехід. Заготовки рухаються між кругами одна за одною безперервним ланцюгом.

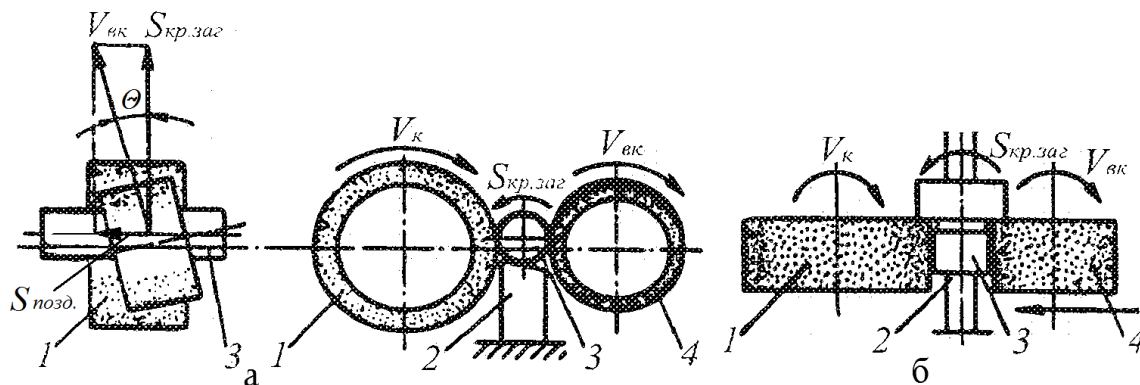


Рис. 3.100. Схеми обробки заготовок на безцентрово-шліфувальних верстатах

Завдання ведучого круга – пригальмовувати заготовку від швидкого обертання і подавати її в осьовому напрямі $S_{позд}$ між кругами. Для цього коефіцієнт тертя ведучого круга об заготовку значно більший, ніж різального, а його вісь нахилена під кутом Θ . Заготовка 3 базується на ножі 2 зі скосом $25\text{--}30^\circ$ у бік ведучого круга і силами різання притискається до нього. Швидкість поздовжньої подачі заготовки визначається за формулою

$$S_{позд} = V_{в.к} \sin \Theta \eta_s, \text{ м/хв},$$

де $\eta_s = 0,95\text{--}0,98$ – коефіцієнт, що враховує проковзування заготовки і ведучого круга.

Звичайно, центр заготовки знаходиться вище від осі шліфувального круга на величину $(0,3\text{--}0,4) d_{заг}$ (але не вище 14 мм), щоб не було огранки виробу.

Переважно, хвилинна подача при наскрізному шліфуванні складає $S_{позд} = 1000\text{--}4000$ мм/хв. Глибина шліфування при перших чорнових переходах $h = 0,05\text{--}0,10$ мм, при завершальних – $0,01\text{--}0,03$ мм. При наскрізному шліфуванні за декілька переходів можна надійно досягти точності $3\text{--}5$ мкм, тобто 5-го квалітету точності, при шорсткості поверхні $R_a 0,32$ мкм.

Безцентрове шліфування має ряд переваг перед звичайним шліфуванням:

- це більш висока продуктивність, тому що жорстка конструкція системи ВПД дозволяє застосовувати підвищені режими різання, не витрачається час на установку і знімання заготовки;
- не потрібне зацентрування заготовки, тому можна призначити значно менші припуски на обробку;

- можна оброблювати нежорсткі заготовки, тому що на них не діють згинальні навантаження.

Безцентрово-шліфувальні верстати можна легко вмонтовувати в автоматичні лінії і вони не потребують кваліфікованих шліфувальників.

Однак, на безцентрових верстатах неможливо досягти високої концентричності внутрішніх і зовнішніх поверхонь у втулках, неможливо концентрично обробити шийки ступінчастих валів, неможливо з наскрізною подачею обробити заготовки з буртами, конічні заготовки тощо. Якщо заготовка має бурти або уступи, то безцентрове шліфування доцільно виконувати з врізною поперечною подачею (рис. 3.100, б), або з поздовжньою подачею „до упору”, як при обробці конічних поверхонь. Безцентрове шліфування широко застосовується в МВ і ВСВ при шліфуванні гладких валів, осей, штоків, пальців тощо.

3.7.7. Внутрішнє шліфування з поздовжньою подачею

Воно виконується на внутрішньошліфувальних верстатах (мод. 3К225В, 3К227А, 3К228В, 3К229В, 3К227Б та ін.) і дозволяє оброблювати отвори діаметрами 2 – 800 мм.

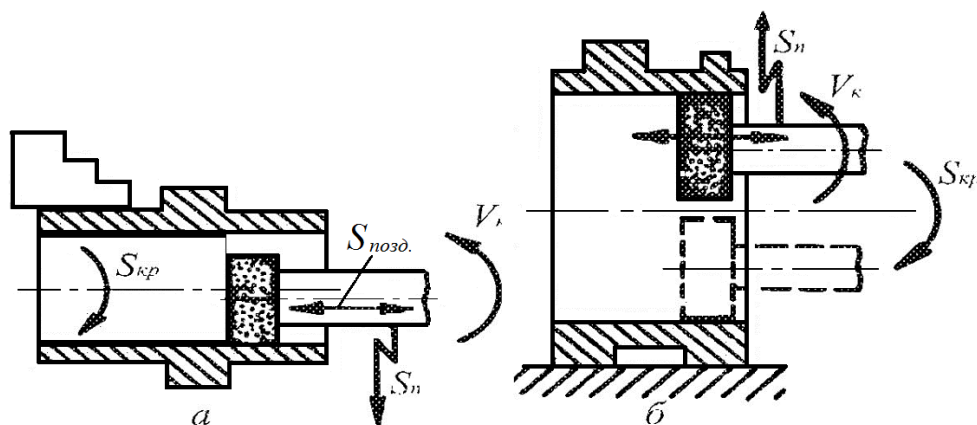


Рис. 3.101. Схеми обробки заготовок на внутрішньошліфувальних верстатах

У цих верстатів є такі рухи подачі (рис. 3.101, а):

- кругова подача $S_{кр}$ в результаті обертання заготовки;
- поздовжня подача $S_{позд}$ в результаті поступально-зворотного руху заготовки або шліфувального круга;
- поперечна подача S_n – це періодичне переміщення бабки шліфувального круга на подвійний хід. Розмірність робочих рухів така ж, як і при зовнішньому шліфуванні.

Звичайно діаметр шліфувального круга приймають максимально можливим $d_k = (0,65-0,95) d_{омв}$, щоб можна реалізувати велику швидкість різання V_k (чим менший отвір, тим більше відношення $d_k / d_{омв}$). Однак, при цьому збільшується дуга контакту круга з заготовкою (внутрішній дотик) і ростуть сили різання. Тому внутрішнє шліфування, а також внаслідок низької жорсткості консольного кріплення круга, процес малопродуктивний і виконується при занижених режимах різання.

При обробці коротких глухих отворів, доріжок у кільцях підшипників і т. п., внутрішнє шліфування виконують за методом врізання.

При внутрішньому шліфуванні можна отримати отвори з точністю до 7–5-го квалітетів та шорсткістю поверхонь до R_a 0,63 мкм. Для підвищення швидкості різання застосовують електрошпинделі з частотою обертання до 140000 хв^{-1} .

3.7.8. Внутрішнє планетарне шліфування

Застосовується для обробки отворів діаметром 60 – 1000 мм у великих заготовках, або заготовках некруглої форми, на планетарно-шліфувальних верстатах (рис. 3.101, б). Заготовка закріплюється нерухомо, а круг, що закріплений на водилі, крім ГРР отримує разом з водилом ще і кругову подачу $S_{кр}$. За допомогою спеціального механізму круг отримує поперечну подачу S_n , періодично переміщуючись уздовж водила. Поздовжню подачу $S_{позд}$ може отримувати стіл з заготовкою або круг.

3.7.9. Шліфування площин периферією круга

Виконується на плоскошліфувальних верстатах з прямокутним або круглим столом.

Плоскошліфувальний верстат з прямокутним столом (рис. 3.102) має шліфувальну бабку 1, стояк 2 з направляючими, стіл 3 і станину 4 (моделі 3E710A, 3E711B, 3E711B-1 та ін.).

На верстатах (рис. 3.103, а, б) з прямокутним столом стіл отримує поступально-зворотний рух поздовжньої подачі $S_{позд}$, м/хв. Крім того, після кожного подвійного ходу стола з заготовкою, стіл, або шліфувальна бабка, які отримують поперечне періодичне переміщення

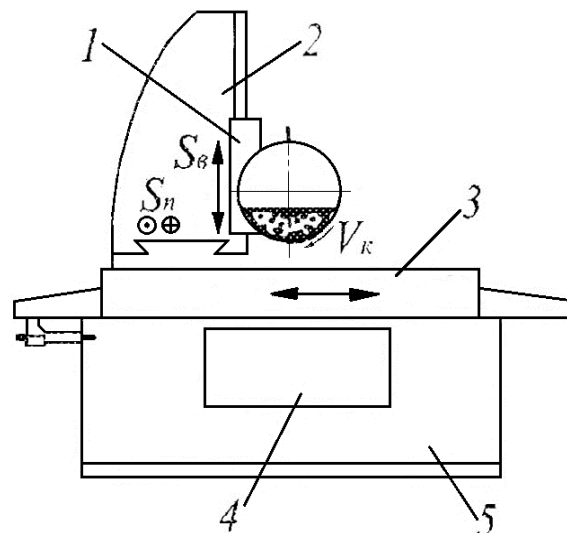


Рис. 3.102. Загальний вигляд плоскошліфувального верстата

подачі S_{Π} в мм/2-й хід столу, або в долях ширини круга В/2-й хід стола. Після обробки усієї площини, шпиндель, при необхідності, отримує вертикальну подачу S_v на глибину різання.

Верстати з круглим столом (рис. 3.103, в) працюють з круговою подачею стола (ЗД740В, ЗД740А, ЗД754 та ін.).

Шліфування периферією круга дозволяє оброблювати фасонні лінійчасті поверхні. Недоліки цього способу: внаслідок нежорсткого консольного кріплення круга на шпиндель діють згинальні навантаження і, в результаті вертикальних коливань шпинделя з кругом, можна отримати „дроблену” оброблену поверхню; нежорстка система ВПД. Тому продуктивність обробки і режими різання значно нижчі, ніж при шліфуванні торцем круга.

3.7.10. Шліфування площин торцем круга

Воно може виконуватися чашковими або сегментними кругами на плоскошліфувальних верстатах з прямокутним (рис. 3.105, б) або круглим (рис. 3.105, г) столом.

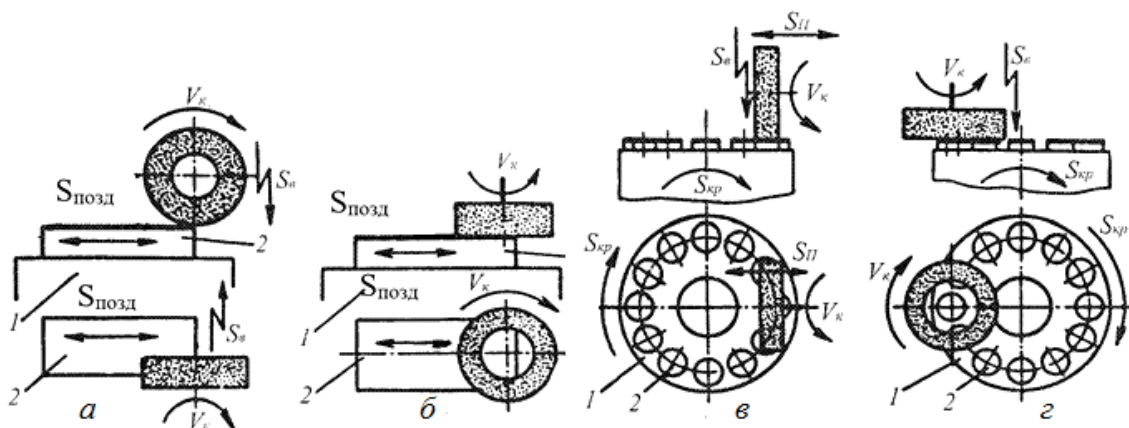


Рис. 3.103. Схеми обробки заготовок на плоскошліфувальних верстатах

Достоїнства цього способу виходять з жорсткого кріплення інструмента, що дозволяє призначити більш жорсткі режими різання, підвищити продуктивність обробки, позбутися „дробленої” поверхні.

Його недоліки: неможливо шліфувати фасонні поверхні; у контакті з заготовкою знаходиться весь торець чашкового круга, що викликає зростання сил різання і температури, на заготовці можуть з’явитися припали, тобто така висока температура в зоні різання може викликати структурні зміни в металі заготовки.

Щоб цього не виникало, вісь круга нахиляють (рис. 2.35) під невеликим кутом $\alpha \leq 2^\circ$. При цьому виникає деяка хвилястість обробленої

поверхні з кроком, що дорівнює поперечній подачі стола на подвійний хід. На верстатах з столом, що обертається, досягається максимальна продуктивність при безперервній обробці, однак на них можна оброблювати тільки плоскі поверхні.

3.7.11. Установка заготовок на плоскошліфувальних верстатах

При обробці шліфуванням виникають значно менші сили, ніж при фрезеруванні, що дозволяє установлювати заготовки різними способами.

Установка заготовок на магнітних плитах з електромагнітом і рідше з постійним магнітом. Це найширше розповсюджений спосіб при обробці магнітних (чорних) металів. Для надійного закріплення заготовки необхідно, щоб магнітні силові лінії замикались через неї.

Безпосередньо на столі верстата з кріпленням прихватками. Так кріплять великі заготовки на поздовжньо-шліфувальних верстатах.

Приклеювання заготовок за допомогою клеїв, які не розчиняються у воді. Широко застосовується шелаковий клей, рідше парафін (через низьку температуру плавлення). Цей спосіб застосовується при обробці заготовок з кольорових сплавів, скла, дорогоцінних каменів тощо. Його недоліки: великі затрати часу на установку і приклеювання заготовки; трудомісткий процес очищення пристрою і деталей від клею.

Закріплення у вакуумному пристрої за рахунок сил атмосферного тиску. Його достоїнство: можна закріпити суцільні заготовки з будь-якого матеріалу, в тому числі тонкі пластини. Недоліки: малі зусилля закріплення, труднощі забезпечення герметичності, дороге обладнання для створення вакууму.

Установка в спеціальних пристроях. Застосовується в тих випадках, коли заготовка не має зручної бази для установки на магнітній плиті, або вона з немагнітного матеріалу. Недолік цього способу – в результаті затискання заготовка може деформуватися.

3.7.12. Припуски під шліфування

Вони залежать від форми та розмірів шліфованої поверхні (довжини, діаметра), її точності, шорсткості попередньо обробленої поверхні (груба, чиста), термообробки (загартована або незагартована), величини дефектного поверхневого шару, виду шліфування (кругле в центрах, або безцентрове) тощо. Необхідно також враховувати похибки геометричної форми заготовки, величину зневуглецьованого поверхневого шару після термообробки. Необхідно пам'ятати, що величина припуску значно впливає на продуктивність і собівартість процесу обробки. Зі збільшенням

припуску, зростає трудомісткість механічної обробки, збільшується витрата електроенергії, ріжучого інструменту, витрата металу.

Звичайно при шліфуванні циліндричних поверхонь припуск на сторону коливається в межах 0,15–0,5 мм для валів і отворів.

3.7.13. Порядок визначення режимів різання

У залежності від заданих умов шліфування, вибирають модель верстата і характеристики шліфувального круга (матеріал абразиву, зернистість, зв'язку, твердість, структуру, форму і розміри).

Для круглого шліфування *спочатку призначають за нормативами режимів різання глибину різання h за один робочий перехід, яка дорівнює поперечній подачі S_n .*

Визначають кругову подачу, тобто швидкість обертання оброблюваної заготовки (звичайно в межах від 40–50 м/хв при чорновій обробці, до 10 м/хв при чистовій), визначають частоту обертання заготовки і уточнюють її за верстатом.

Визначають за нормативами поздовжню (при круглому) і поперечну (при плоскому шліфуванні) подачі в долях ширини круга та в мм.

Підбирають частоту обертання круга, виходячи з максимально допустимої швидкості різання до 25–35 м/с. Максимально допустима частота обертання круга або швидкість різання указується на крузі, при більшій частоті обертання круг може розірватися.

Визначають силу різання і потужність, потрібну при шліфуванні. Наприклад, при круглому шліфуванні з поздовжньою подачею потужність визначають за формулою:

$$N_e = C_N S_{kr}^r h^{x_N} S_{позд}^{y_N} d^{q_N}, \text{ кВт},$$

де C_N – коефіцієнт пропорційності;

S_{kr} – кругова подача заготовки, м/хв;

$S_{позд}$ – поздовжня подача круга, мм/об заготовки;

h – глибина різання, мм;

d – діаметр оброблюваної поверхні, мм;

r, x_N, y_N, q_N – табличні показники степеня.

Розраховують норму часу на обробку заготовки.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які найбільш часто використовувані шліфувальні верстати?
2. У чому суть процесу шліфування?
3. За якими ознаками класифікують шліфувальні інструменти?
4. Назвіть основні види шліфувальних робіт.

5. Як здійснюється зовнішнє кругле шліфування з поздовжньою подачею?
6. Чим відрізняється зовнішнє кругле шліфування з поперечною подачею від попереднього?
7. Назвіть особливості зовнішнього круглого безцентрового шліфування з наскрізною подачею?
8. Як здійснюється внутрішнє шліфування з поздовжньою подачею?
9. Як здійснюється внутрішнє планетарне шліфування?
10. На яких верстатах проводять шліфування площин периферією круга?
11. Які переваги та недоліки шліфування площин торцем кола?
12. Які способи можуть бути застосовані для установки заготовок на плоскошліфувальних верстатах?
13. Від яких факторів залежать припуски під шліфування?
14. Яка послідовність визначення режимів різання при шліфуванні?

4. КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА ІНШІ СПЕЦИФІЧНІ ВИДИ ОБРОБКИ

4.1. Основи конструювання пристроїв

4.1.1. Елементи пристроїв для обробки на МРВ

Основними елементами пристроїв є наступні.

Опори, на котрі установлюють заготовки для обробки. Вони розділяються на постійні, самоустановні і підводжувані.

Затискні елементи, що призначені для надійного закріплення заготовки. За принципом дії вони розділяються на ручні і механічні.

До ручних затискачів відносяться гвинтові, клинові і ексцентрикові.

До механічних затискачів відносять пневматичні, гідравлічні, пружинні, електромеханічні, магнітні та ін. Ручні затискачі застосовують в ОВ і МСВ. Механічні затискачі, в комбінації з елементами ручних затискачів, застосовують в ССВ і МВ.

Елементи для виставляння і направлення інструмента: кондукторні і направляючі втулки, габарити, установи.

Орієнтуючі елементи, що призначені для правильного установлення пристроїв на верстатах.

Ділильні елементи і фіксатори поворотних пристроїв.

Корпуси пристроїв, що об'єднують усі інші елементи пристроїв в одне ціле.

4.1.2. Опори

Опори постійні (рис. 4.1) можуть мати різні контактні поверхні.

Опори з сферичною головкою (а) застосовуються для установки заготовок на необроблені поверхні і забезпечують точковий контакт. Більш надійне кріплення при установці на необроблені поверхні заготовки забезпечують опори з насічкою (б).

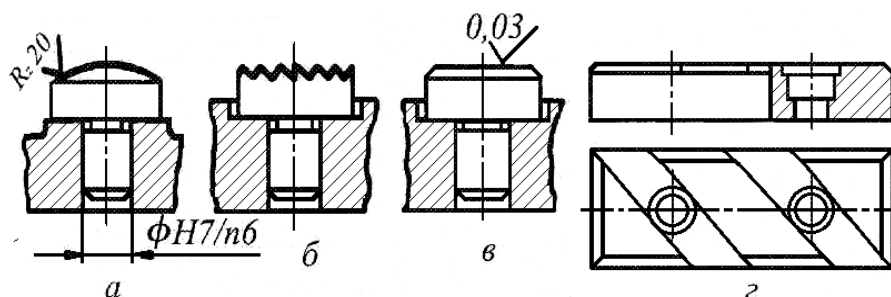


Рис. 4.1. Опори постійні

При установці заготовки на оброблену поверхню застосовують опори з плоскою (в) головкою (для невеликих заготовок і заготовок з суцільною базовою поверхнею), або опорні (г) пластини (для великих заготовок і заготовок з переривчастою базовою поверхнею). Косі заглибини полегшують видалення стружки і не зачіплюються за край заготовки. Контактні поверхні опор для чистової обробки шліфують у зборі після установки в пристрої. Опори виготовляють з сталей 15 або 20 і для зносостійкості цементують і гартують до HRC 55-60.

Самоустановні опори (рис. 4.2) застосовують при установці заготовок на чорнові бази для компенсації неточностей заготовок і підвищення надійності установки (а), а також для підвищення жорсткості заготовки і уникнення її деформації при обробці (б).

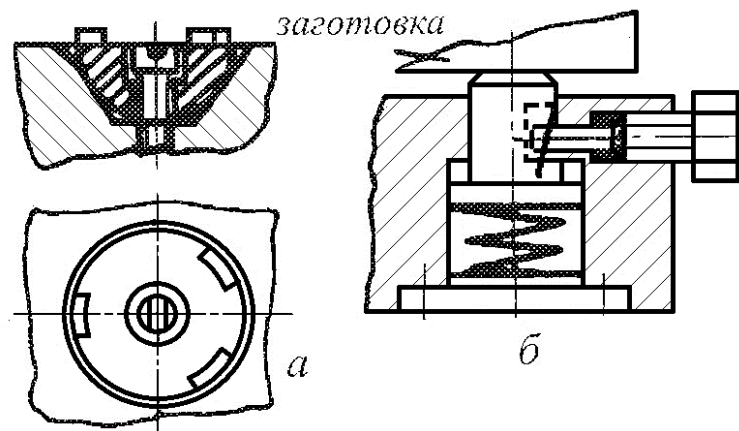


Рис. 4.2. Опори самоустановні

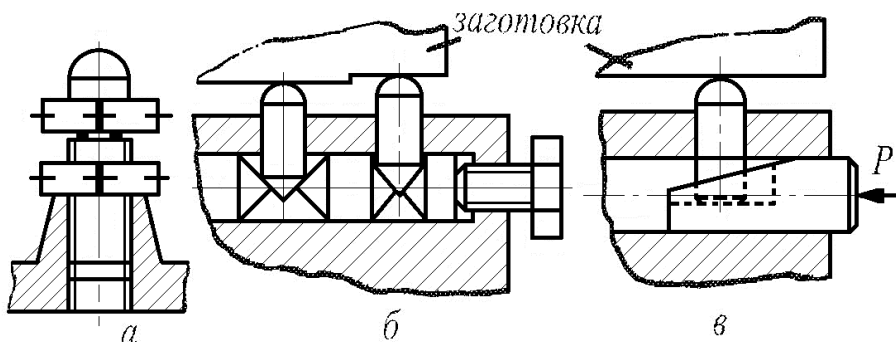


Рис. 4.3. Опори підводжувані

При установці заготовки на опору (а), опора самовиставляється і контактує з заготовкою в трьох точках.

При установці заготовки на три жорсткі точки (на схемі не показані) опора (б), що знаходиться навпроти нежорсткої частини опускається під

дією маси заготовки і сил затискання. Після закріплення заготовки, гвинтом вручну фіксують опору, що підвищує жорсткість заготовки в процесі обробки. Робочі поверхні опор також цементують і гартують до HRC 55–60.

Підводжувані опори (рис. 4.3) підводяться під оброблювану заготовку після установки її в пристрої і оберігають її від деформації під дією сил різання і затискання. Вони можуть бути гвинтовими (а), конічними (б), клиновими (в) та іншими.

4.1.3. Затискні елементи

До затискних елементів пред'являють такі вимоги: надійність закріплення заготовки, виключення впливу затискання на деформацію заготовки, висока швидкість затискання, зручність у роботі, простота і низька вартість виготовлення, затискачі і сили різання повинні притискати заготовку до постійних опор.

Ручні затискачі широко застосовують в ОВ і МСВ. Найширше розповсюджені гвинтові затискачі (рис. 4.4).

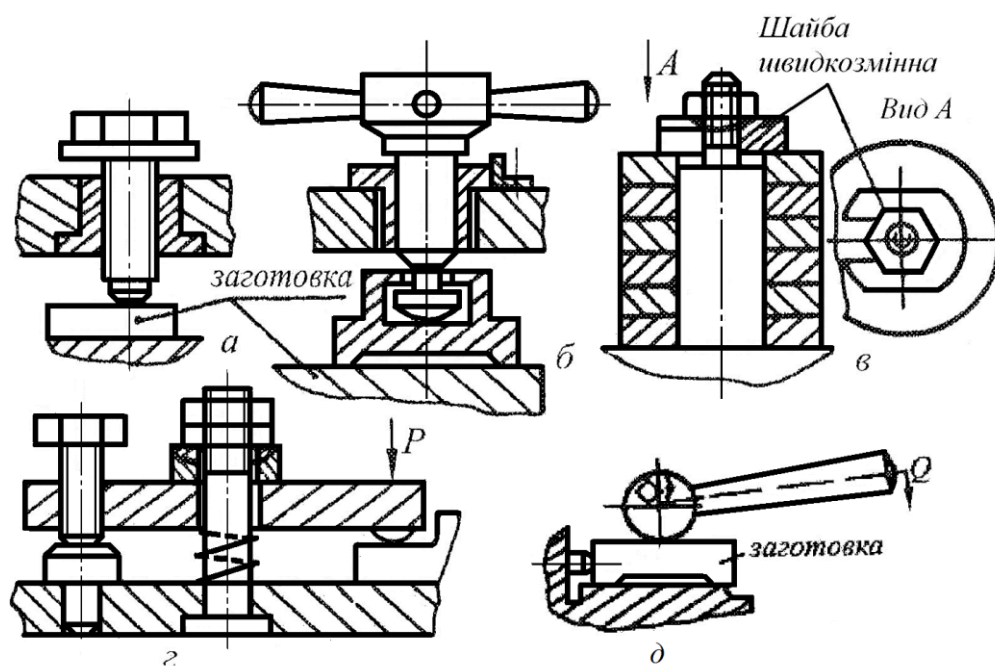


Рис. 4.4. Затискні елементи з ручним приводом

Найпростіший *гвинтовий затискач* (а). Його недоліки: при затисканні, внаслідок малої контактної поверхні, можливе пошкодження поверхні заготовки. Крім того, можливий зсув заготовки при загвинчуванні. Застосовується для кріплення різців на токарних верстатах.

Башмак (б), що нагвинчений на сферичну головку гвинта, самоустановлюється та рівномірно притискає заготовку і не псує її поверхню. Заготовка не зсувається при затисканні.

Однією гайкою (в) одночасно затискають шість заготовок. Щоб не відгвинчувати кожен раз гайку, застосовують швидкознімну шайбу або чеку з прорізом. Зовнішній діаметр гайки повинен бути меншим від діаметра отвору в заготовці. Щоб на гвинт не діяли згинальні навантаження і не було перекосу при затисканні заготовок, опорні поверхні виконують сферичними для самовиставлення.

Також для закріплення заготовок застосовуються *прихвати* (г). Застосування гвинтового затискача разом з важільною системою дозволяє змінювати напрям дії зусилля затискання, збільшити (зменшити) силу затискання тощо. Важелі дуже широко застосовуються в затискних елементах.

Ексцентрики (д) затискачі найчастіше застосовуються в пристроях з ручним затисканням. Тому ексцентрик повинен обов'язково бути самогальмівним, щоб заготовка залишалася в затисненому стані після знімання навантаження Q . Робочі поверхні ексцентриків можуть бути окреслені по колу, по Архімедовій або логарифмічній спіралі. Тому що робоча частина ексцентрика сприймає великі навантаження і зношується, його виготовляють з сталей 15 або 20, цементують і гартують до HRC 55-60. Ексцентрикові затискачі відрізняються високою швидкодією, але вони мають малий робочий хід і підвищений знос ексцентрової пари.

Клинові затискачі (рис. 4.5) найчастіше застосовуються в поєднанні з механічним приводом, що виконує поступально-зворотний рух. При ручному затисканні застосування клина не зручне, тому що він повинен бути самогальмівним, з малим кутом α , що збільшує його довжину. Крім того, забивання і вибивання клина псує поверхні пристрою і клина внаслідок тертя ковзання. Тому такі клини

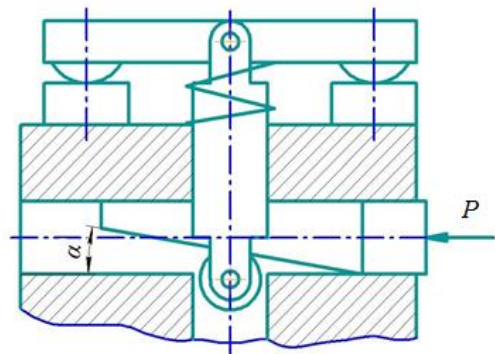


Рис. 4.5. Клиновий затискач

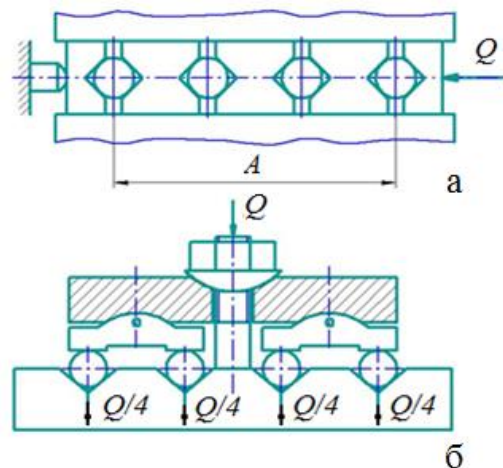


Рис. 4.6. Затискачі послідовної (а) і паралельної (б) дії

застосовують дуже рідко: для кріплення інструментів (затягуванні) у конічному отворі шпинделя верстата, для установлення заготовок на великих верстатах, для з'єднання різних частин кокілів тощо.

Наявність гідравлічного або пневматичного приводу з постійним тиском дозволяє: зменшити габарити клина, тому що кут α збільшується до 15° , а іноді до 30° і 45° ; замінити тертя ковзання тертям кочення (застосувавши ролики) в контактних парах, що сприяє широкому застосуванню клинових механізмів у пристроях.

На практиці, як правило, застосовують комбіновані затискачі, що складаються з розглянутих вище.

Широко застосовуються затискачі (рис. 4.6) послідовної (а) і паралельної (б) дії в багатомісних пристроях. У затискачах послідовної дії кожна заготовка буде затискуватися з силою Q , а в затискачах паралельної дії – з силою Q/n , де n – кількість заготовок, що одночасно затискаються. Недолік першого затискача (а) – велике зміщення заготовок у напрямі А, тобто низька точність базування, другого (б) – мала сила затискання.

4.1.4. Механічні затискачі

У механічних затискачах широко застосовуються пневматичний, гідравлічний, електромеханічний, магнітний та інші приводи. Переваги таких затискачів полягають у високій швидкодії, отриманні необхідних розрахункових зусиль затискання, в тому числі дуже значних, можливості приведення в дію декількох затискачів від одного приводу. Застосування пневматичного або гідравлічного приводу потребує наявності в цеху магістралі стисненого повітря або рідини під тиском (найчастіше застосовують автономні дорогі гідростанції).

Для збільшення сили затискання застосовують механізми-підсилювачі: важільні, клинові, ексцентрикові, гвинтові і їх комбінації.

Пневматичні затискачі скорочують допоміжний час закріплення заготовки в 5–10 разів у порівнянні з ручними затискачами. Недолік пневмоприводу – великі габарити пристрою для отримання необхідних зусиль затискання. Головний робочий орган пневматичного приводу – пневмоциліндр (рис. 4.7, а), або пневмокамера (рис. 4.7, б). Робочий тиск повітря – 0,4–0,5 МПа. Для забезпечення безпечної роботи у випадку раптового падіння тиску повітря, застосовують зворотні клапани, різні захисні і такі, що виключають верстат, пристрої.

Зусилля на штоці пневмоциліндра двосторонньої дії визначається за формулою

$$P_{\text{ц}} = p \frac{\pi D^2}{4} - q, \text{ Н},$$

де p – питомий тиск повітря, МПа; D – діаметр поршня, мм; q – втрати на подолання сил тертя поршня і штока, Н.

У пневмоциліндрах застосовують кутові і V-подібні манжети. Пневмоциліндри досить дорогі, але вони мають великий робочий хід штока і застосовуються для легких робіт.

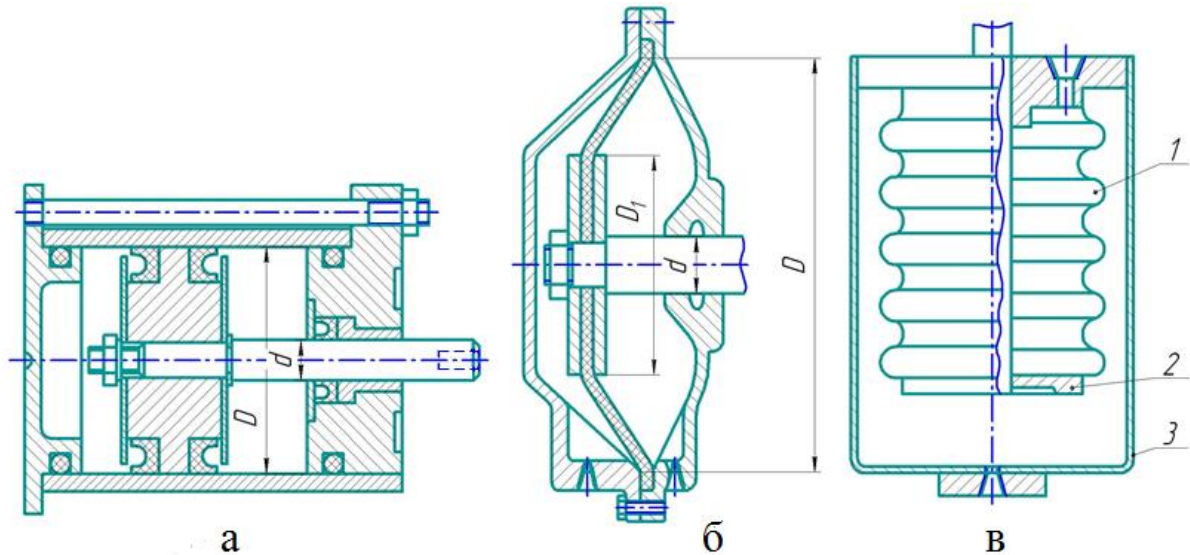


Рис. 4.7. Типи пневматичних приводів: а – поршневий (пневмоциліндр); б – діафрагмовий; в – сильфонний

Штампована або лита пневмокамера (рис. 4.7, б) односторонньої дії досить дешева, тому що не потребує точної обробки і немає багато частин, які труться. Вона складається з гумової діафрагми, штока з фланцем і корпусу. Недолік пневмокамери – відносно малий хід штока, який приблизно дорівнює $0,25 \cdot D$ для тарілчастих діафрагм і $(0,15 - 0,20) \cdot D$ для плоских.

Зусилля затискання пневмокамери визначають

$$P_k = p_l \frac{\pi D^2}{4} - q, \text{ Н}$$

де q – опір пружини, p_l – питомий тиск в гидросистемі.

Діаметри циліндрів і пневмокамер нормалізовані. У всіх можливих випадках перевагу необхідно надавати пневмокамерам.

Для закріплення заготовок на токарних і револьверних верстатах використовують пневмоциліндри, котрі обертаються разом з шпинделем верстата (рис. 3.18).

Гідравлічні циліндри працюють під тиском рідини в 6–10 разів більшим, ніж тиск повітря (2,5–4, до 10 МПа), тому вони компактніші і дозволяють розвивати дуже великі зусилля затискання. Гідравлічні

циліндри відрізняються від пневматичних вищою міцністю і в них застосовують ущільнюючі кільця круглого перерізу або V-подібні манжети. Пневмо- і гідроциліндри застосовують у ВСВ і МВ.

4.1.5. Елементи пристроїв для виставлення і направлення інструментів

Для правильного взаємного розміщення інструмента і заготовки в процесі налагодження верстата, передбачають висотні і кутові установи при обробці на фрезерних верстатах, габаритні шаблони при обробці на стругальних верстатах та ін.

За висотним установом (рис. 4.8, а) з допомогою щупа товщиною Δ , який розміщують між установом і фрезою, виконують налагодження верстата на заданий розмір обробки h . Установ A звичайно нижчий від рівня обробки h на товщини щупа Δ , щоб його не пошкодити при обробці:

$$A = h - \Delta.$$

Аналогічно виконують налагодження верстата за кутовим установом (рис. 4.8, б). Звичайно товщина щупа 0,3–3 мм.

Для направлення інструмента, найчастіше, при обробці на свердлильних і розточувальних верстатах, застосовують (рис. 3.47) кондукторні і направляючі втулки, уловлювачі тощо.

4.1.6. Елементи для установлення пристроїв на верстатах

Звичайно пристрій проектується для певного верстата, тому в ньому повинні бути передбачені пази або інші елементи, які відповідають так званім Т-подібним пазам на столі верстата, отворах тощо.

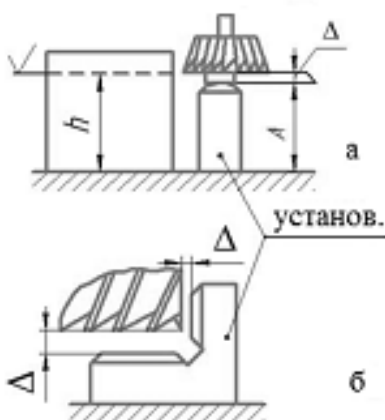


Рис. 4.8. Висотний (а) та кутовий (б) установи для фрезерних пристроїв

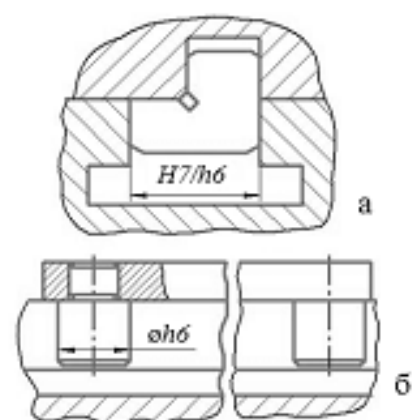


Рис. 4.9. Орієнтуючі елементи фрезерних пристроїв

Крім того, пристрій при установленні на верстаті повинен зайняти точно визначене положення відносно робочих органів верстата (наприклад, паралельно до поздовжньої подачі стола верстата). Це особливо важливо для верстатів з ЧПК.

Для цього в пристроях на опорній плиті передбачають по дві шпонки або пальці (рис. 4.9), котрі щільно входять у центральний Т-подібний паз стола верстата.

Пальці, штирі або шпонки виготовляють з сталі 45 і гартують до HRC 40–45. У пристроях, що призначені для установлення в центрі поворотного стола верстата, передбачають один центруючий і один направляючий палець. Центруючий палець входить у центральний отвір стола, а направляючий – в один з радіальних Т-подібних пазів.

4.1.7. Ділильні елементи і фіксатори

Застосовуються в багатопозиційних пристроях, в яких закріплена заготовка разом з частиною пристрою може повертатися на певний кут і фіксуватися в цьому положенні. Найчастіше застосовують ділильні елементи у вигляді диска з пазами, в які входить фіксатор. Кількість пазів диска відповідає числу необхідних позицій поворотної частини пристрою. Диск повертається вручну, а фіксатор притискається пружиною. Крім ділильних елементів з ручним приводом, також застосовують механізовані ділильні елементи.

4.1.8. Корпуси пристроїв

Корпуси пристроїв виготовляють литими, зварними, суцільними з прокату і вони можуть бути різних конструкцій. Для установлення на верстаті вони повинні мати відповідні пази, посадочні місця, орієнтуючі елементи тощо. Опорна плита пристрою повинна мати піднутрення для забезпечення більшої стійкості і точності базування. У важких пристроях передбачають рим-болти для транспортування.

4.1.9. Пристрої для обробки на верстатах з ЧПК

Верстати з ЧПК найчастіше застосовують у МСВ та ССВ, коли часто змінюються виготовлювані деталі. Тому конструкція пристроїв для верстатів з ЧПК повинна забезпечувати швидке та точне базування пристрою на столі верстата, щоб зменшити підготовчо-заключний час і простій дорогих верстатів. При наявності на столі верстата поздовжніх і центрального поперечного паза, пристрій базується за допомогою установочних шпонок або штирів по поздовжньому і поперечному пазах.

При наявності поздовжніх пазів і центрального отвору – циліндричним штирем по отвору і шпонкою або штирем по поздовжньому пазу. Якщо стіл має тільки поздовжні пази, то пристрій базується по пазу за допомогою двох шпонок, при цьому для повного базування необхідно передбачити упор у напрямі поздовжньої осі.

На верстатах з ЧПК застосовують системи: універсальних безналагоджувальних пристроїв (УБП), універсальних налагоджувальних пристроїв (УНП), спеціалізованих налагоджувальних (СНП), універсальних збірних (УЗП), механізованих універсальних збірних для верстатів з ЧПК (УЗПМ), збірно-розбірних пристроїв (ЗРП) і універсальної збірної переналагоджувальної оснастки (УЗПО) [38]. Найчастіше застосовують УЗП та УЗПМ.

Універсальні збірні пристрої збираються з стандартних деталей та вузлів високої точності багаторазового використання. До складу комплексу УЗП–ЧПК входять деталі та складальні одиниці таких груп: базові, корпусні, опори і установи, кріпильні та затискні, допоміжні.

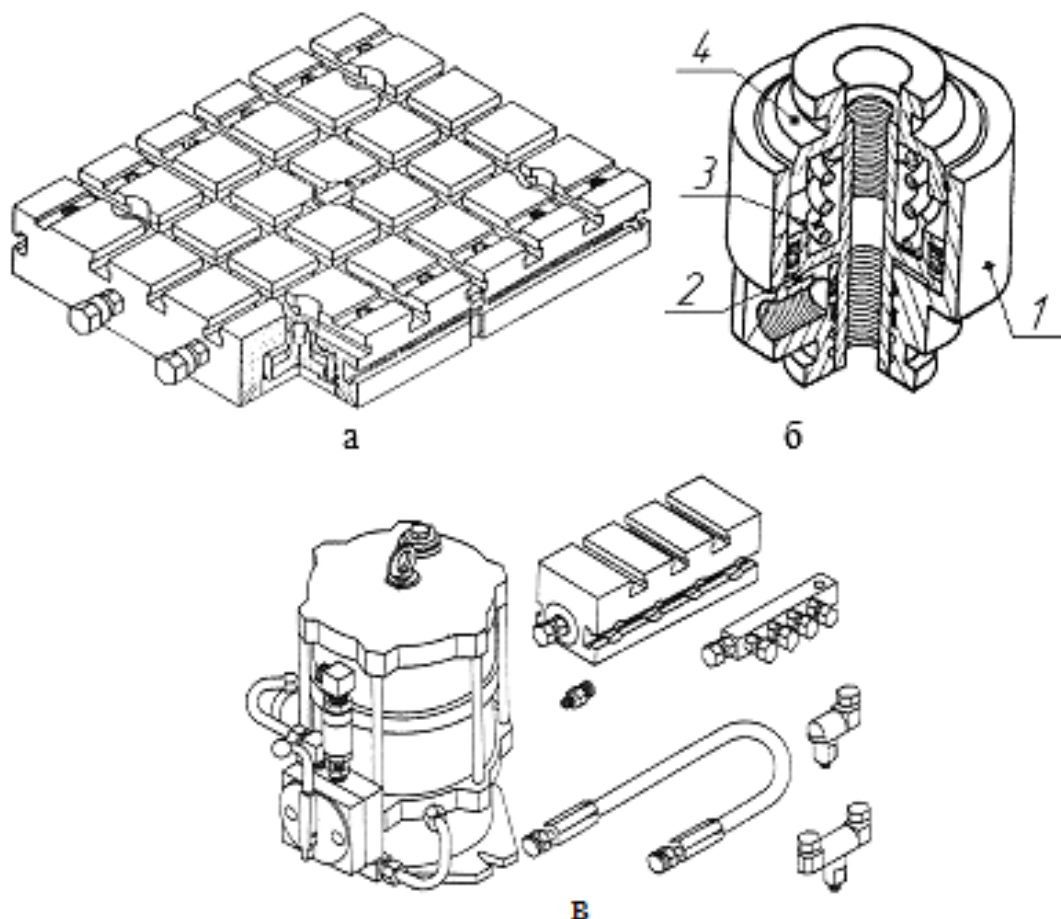


Рис. 4.10. Базова плита з гідроблоками (а) та гідроприводи і арматура (б, в) механізованих УЗП

До базових відносяться: стандартні плити УЗП, пневматичні та гідравлічні столи (приводи), магнітні плити, самоцентруючі та плаваючі затискачі.

Корпусні, опорні і установочні деталі системи УЗП-ЧПК призначені для орієнтації оброблюваних заготовок на базових деталях. Як кріпильні і затискні деталі застосовують стандартні деталі УЗП: шпонки, прихвати, болти, шпильки, гайки, сухарі тощо. Використання компоновки УЗП-ЧПК забезпечує високу точність базування: відхилення базуючих елементів при старанній наладці не перевищує 0,02 мм.

Найбільш перспективними є системи гідрофікованих (механізованих) УЗПМ-ЧПК. Базовими елементами цієї системи є гідроблоки – плити з Т-подібними пазами шириною 12 або 16 мм (кількість елементів комплекту, відповідно, складає 306 і 244 шт.) та вмонтованими гідроциліндрами, на яких компонуються установочні і затискні елементи. У комплект також входять окремі гідроциліндри, які працюють під тиском масла 10 МПа; хід поршня – 8 мм; строк служби комплекту – 10–15 років.

На рис. 4.10, а показана базова плита з вмонтованими гідроциліндрами, сіткою пазів та різьбових отворів для кріплення різних елементів.

На рис. 4.10, б показаний гідроциліндр односторонньої дії, що складається з вмонтованого в гідроплиту корпусу 1, поршня 2, пружини 3 та кришки 4. Через шток поршня сила затискання передається на притискач. У вихідне положення поршень з штоком відводиться пружиною 3.

Гідропривод і арматура (рис. 4.10, в) забезпечують робочий тиск у гідравлічних механізмах зібраних пристроїв. Вони установлюються на плиті або на кронштейнах. До цієї групи відносяться пневмо-гідроперетворювачі, гідропідсилювачі, штуцери, колектори тощо.

Установочні деталі і складальні одиниці, регульовані упори, кутики, установи, перехідні шпонки та вкладиші служать для базування заготовок, а також для взаємної фіксації елементів пристрою.

Затискні деталі і складальні одиниці забезпечують затискання збазованих оброблюваних заготовок у пристроях. До цієї групи відносяться гідравлічні затискачі; самоустановні, ступінчасті та вилкові прихвати; клинові та ексцентрикові затискачі.

На складання одного пристрою з елементів УЗП в середньому витрачається 3–4 години. Пристрій, зібраний з елементів комплекту УЗПМ-ЧПК, показаний на рис. 3.80.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні елементи пристосувань для обробки на МРВ?
2. Назвіть основні види опорних елементів?
3. Назвіть види затискних елементів і вимоги, що пред'являються до них?
4. Назвіть типи механічних затискачів в верстатних пристосуваннях?
5. Назвіть елементи пристосувань для установки і напряму інструментів?
6. Назвіть елементи для установки пристосувань на верстатах?
7. Назвіть види ділильних елементів і корпусів верстатних пристосувань?
8. Назвіть системи пристосувань для обробки на верстатах з ЧПК?

4.2. Завершальні види обробки

Завершальні види обробки застосовуються для отримання точних і чистих, остаточно оброблених поверхонь деталей. До них відносяться: тонке точіння, шліфування, хонінгування, притирка, суперфініш, полірування, алмазне вигладжування, обкатування і розкатування, дорнування тощо.

4.2.1 Тонке (алмазне) точіння

Воно виконується алмазними (при обробці кольорових металів і сплавів, пластмас), твердосплавними (при обробці чавунів, кольорових сплавів і пластмас – ВК2, ВК3; сталей – Т30К4, Т60К6 та ін.) і рідше швидкорізальними різцями з особливими режимами різання.

Алмазної обробки характерні малі глибини різання: $h = 0,05\text{--}0,3$ мм, дуже малі подачі – $S_o = 0,005\text{--}0,15$ мм/об і високі швидкості різання: для сталей: 100–200 м/хв; для чавунів декілька більше: 120–250 м/хв; для бронз: 300–400 м/хв, а для алюмінієвих сплавів: 500–1500 м/хв.

Алмазна обробка широко застосовується при обробці отворів. Верстати для алмазного розточування відрізняються дуже високою точністю, жорсткістю і високою частотою обертання шпинделів - від 1500 до 12000 хв⁻¹. Вони можуть бути одно- і багатшпиндельними, з вертикальними, горизонтальними, і шпинделями, розміщеними під кутом.

Процес тонкого розточування дозволяє отримувати отвори точністю до 5–10 мкм, що відповідає 7-му і навіть 5-му квалітету точності, з шорсткістю поверхонь R_a 0,63–0,32 мкм і навіть R_a 0,16 мкм.

Стійкість алмазних різців при обробці кольорових сплавів і пластмас вища від стійкості твердосплавних у десятки разів, а якість обробки вища. Але алмазні різці не застосовують для обробки чавунів і сталей, так як висока температура в зоні різання призводить до втрати алмазом ріжучих властивостей.

4.2.2. Хонінгування

Хонінгування застосовується, переважно, для остаточної обробки точних отворів діаметром від 20 до 1500 мм на хонінгувальних верстатах, які за формою подібні до вертикально-свердлильних верстатів.

Обробка виконується абразивними або алмазними брусками, закріпленими в хонінгувальних головках – хонах.

Хон (рис. 4.11) має 2, 3, 4 і більше брусків 3, приклеєних в оправках 5, що мають дві конічні частини 6. У процесі обробки хон обертається, виконуючи головний рух різання з швидкістю $V_x = 50\text{--}100$ м/хв, і у вертикальному напрямі рухається поступально-зворотно виконуючи рух подачі з швидкістю $S_g = 10\text{--}20$ м/хв.

Після кожного подвійного ходу хона, за допомогою спеціального механізму конічні втулки 1 сходяться, а бруски 3 розходяться на величину $S_n = 0,25\text{--}1$ мкм/2-й хід, виконуючи візання на подвійний хід хона.

Обертання і поступально-зворотний рух хона підбирають так, щоб виключити проходження зерна абразиву два рази по одній і тій же траєкторії. При хонінгуванні на оброблюваній поверхні утворюється сітка штрихів, що пересікаються під кутом α в горизонтальній площині. Установлено, що чим більший кут α , тим вища продуктивність обробки, а чим він менший, тим нижча шорсткість обробленої поверхні. Тому відношення швидкостей V_x і V_g підбирають так, щоб при чорновій обробці $\alpha = 40\text{--}60^\circ$, а при чистовій $\alpha = 10\text{--}20^\circ$.

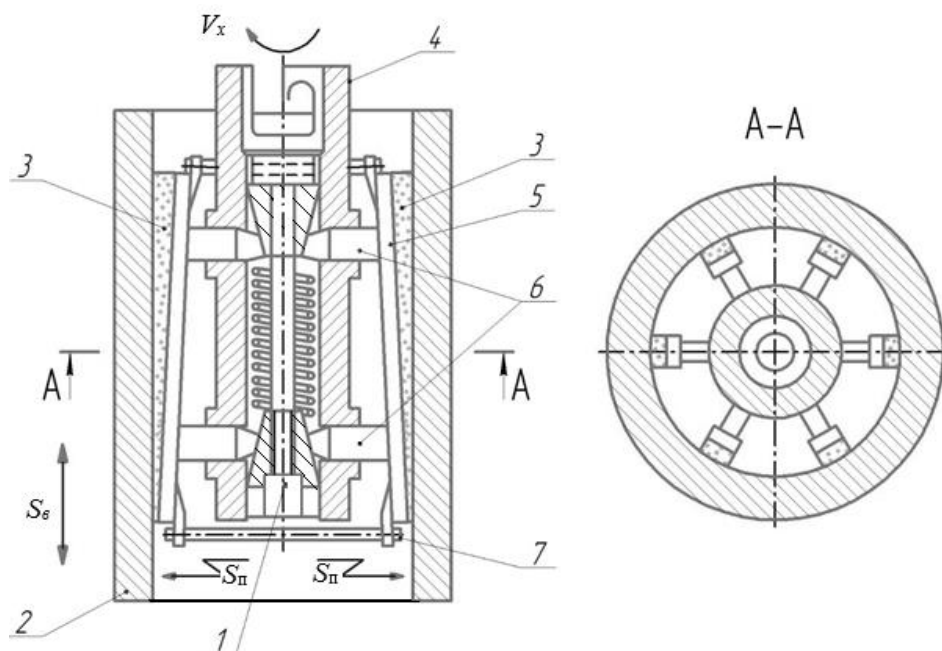


Рис. 4.11. Хонінгувальна головка з розсувними брусками

Хонінгуванням оброблюють попередньо розвернуті, шліфовані, чисто розточені або протягнуті отвори і досягають 7-го і навіть 5-го квалітету точності з шорсткістю поверхонь – до R_a 0,32–0,08 мкм. Припуск під попереднє хонінгування – до 0,02–0,1 мм, а під остаточне – 0,01 мм.

Довжина брусків l хона звичайно залежить від довжини оброблюваного отвору L і, переважно, $l = 3/4 L$, причому, для одержання якісного отвору, бруски при хонінгуванні повинні виходити з отвору на $1/3$ своєї довжини.

Тому що хон кріпиться шарнірно (рис. 4.11), то при хонінгуванні не виправляється положення осі отвору.

Застосування хонінгування алмазними брусками дозволяє суттєво підвищити точність форми отворів (у 10–12 разів) і довести цю точність до 8–10 мкм. Стійкість алмазних брусків у 150–250 разів перевищує стійкість абразивних, однак якість обробленої поверхні дещо гірша.

При хонінгуванні сталей застосовують рясне охолодження рідиною, що включає 50 % гасу і 50 % масла, а чавунів – 90 % гасу і 10 % масла.

Хонінгування широко застосовують при обробці циліндрів, гільз, втулок, циліндрів насосів, шприц-машин тощо.

4.2.3. Притирка (доводка, або лапінг-процес)

Це процес найточнішої, високопрецизійної обробки поверхонь деталей. Притиранням досягають 5-го і вищого квалітетів точності і шорсткості поверхонь R_a 0,08–0,01 мкм. Перед притиркою поверхня повинна бути оброблена по 7-му квалітету точності і мати шорсткість не гіршу, ніж R_a 0,32–1,25 мкм.

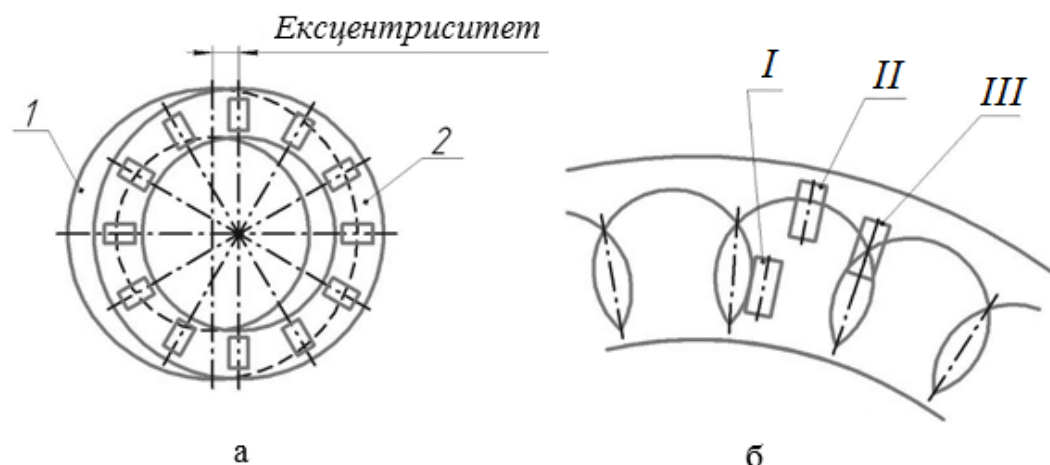


Рис. 4.12. Схема притирки роликів (I–III – положення заготовок відносно притира)

Притиркою оброблюють плоскі і круглі поверхні. При плоскій притирці (рис. 4.12) притиром служить диск, який обертається, а заготовка виконує поперечний поступально-зворотний рух. При круглій притирці (рис. 4.13) заготовка обертається, а обтискач (для зовнішніх поверхонь), жорсткий або розсувний притир (для внутрішніх) виконує поступально-зворотний рух.

При притирці, як і при інших видах завершальної обробки, повинен дотримуватися принцип „неповторності сліду”, тобто кожне зерно абразиву не повинно два рази проходити по одному і тому ж сліду на заготовці. Для цього, наприклад (рис. 4.12), притир 1 і сепаратор 2 з роликками зміщені на величину ексцентриситету.

Для попереднього притирання застосовують притири, виготовлені з міді, свинцю, текстоліту і шаржовані абразивом (шаржування – вдавлювання абразиву в матеріал притира). Для остаточного притирання притири виготовляють з сірого чавуну. Твердість притира повинна бути меншою від твердості оброблюваного матеріалу.

Чавун і кольорові сплави притирають дрібнозернистим карбідом кремнію, сталь – електрокорундом, тверді сплави – алмазним порошком, пастою або карбідом бору. Припуск під притирку – не більший 0,02 мм на сторону. Як МОР застосовують 50 % масла і 50 % гасу.

Застосовують притирання вільним, нешаржованим абразивом: окисом хрому, окисом заліза, віденським вапном. Ці матеріали застосовують у вигляді паст на основі стеаринової кислоти (15–30 %), олеїнової кислоти (30–60 %), веретеного масла (15–30 %).

Притирка – низькопродуктивний процес і застосовується для притирання плунжерних пар, клапанів насосів, кранів, кінцевих мір тощо.

4.2.4. Суперфініш

Це викінчуючий процес обробки, переважно, зовнішніх поверхонь обертання (рис. 4.14). Вони виконуються дрібнозернистими абразивними брусками, що коливаються, з метою зменшення висоти мікронерівностей.

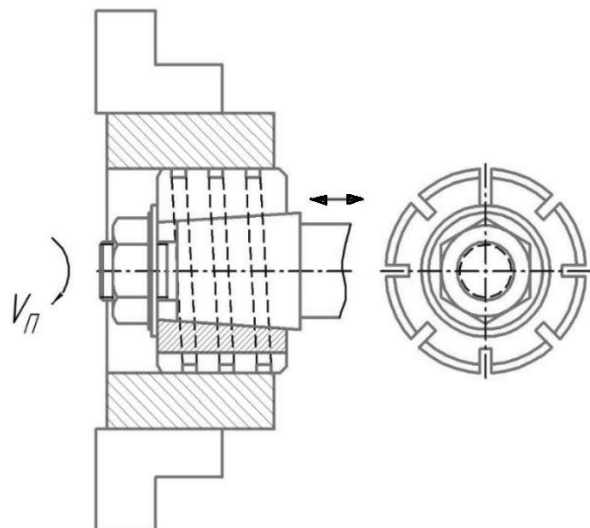


Рис. 4.13. Схема напівмеханічної притирки отвору

Точність практично не змінюється і спеціальний припуск не передбачається (знімається шар металу 0,005–0,02 мм). Обробка виконується при обертанні заготовки з швидкістю 10–75 м/хв, поздовжній подачі брусків з швидкістю 0,3–1,5 м/хв і осцилюючим коливанням брусків з амплітудою 4–6 мм.

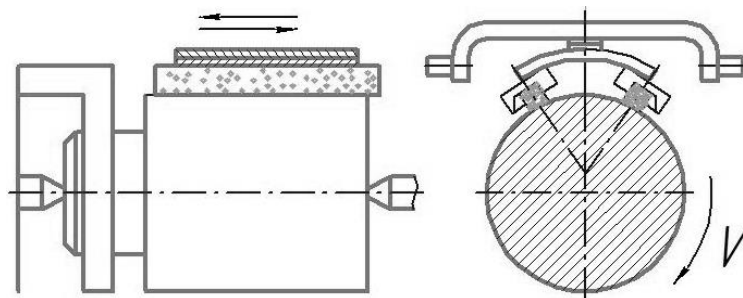


Рис. 4.14. Схема суперфінішування

У кінці обробки масляна плівка, що складається з 80 % гасу і 20 % масла, не розривається виступаючими вершинами шорсткості поверхні заготовки і брусок ковзає по поверхні, не виконуючи обробки. Процес припиняється.

Процес суперфінішу дозволяє одержувати поверхні з шорсткістю до R_a 0,04–0,01 мкм, при вихідній не гіршій R_a 0,63–0,32 мкм.

Застосовується при обробці шийок валів машин для виготовлення паперу, колінчастих валів, поверхонь каландрових і прокатних валів тощо.

4.2.5. Полірування

Це процес чистової, остаточної, декоративної обробки поверхонь деталей м'якими повстяними, шкіряними або фетровими кругами з нанесеним абразивним матеріалом.

При поліруванні мають місце два процеси: хіміко-механічний, в результаті якого зерна абразиву знімають тонкий шар окисленої плівки, і фізичний, коли в результаті високого тиску і температури в зоні обробки спостерігається пластична течія металу в поверхневому шарі.

При поліруванні найчастіше застосовують пасти на основі окису хрому зеленого кольору, рідше на основі окису заліза червоного кольору. Швидкість обертання круга – до 50 м/с. Полірування дозволяє отримувати шорсткість поверхонь до R_a 0,04–0,02 мкм, однак, точність може знижуватися внаслідок утворення завалів.

При завершальній обробці складних фасонних поверхонь особливо ефективно електрополірування (рис. 4.15), коли виріб є анодом. При цьому

за 30 с знімається шар металу товщиною 3–5 мкм і досягається шорсткість поверхні R_a 0,16–0,04 мкм. Процес супроводжується сильним газовиділенням, тому необхідно передбачати відсмоктуючу вентиляцію. Електрополірування застосовується при обробці складних лопаток насосів, турбін, реактивних двигунів тощо.

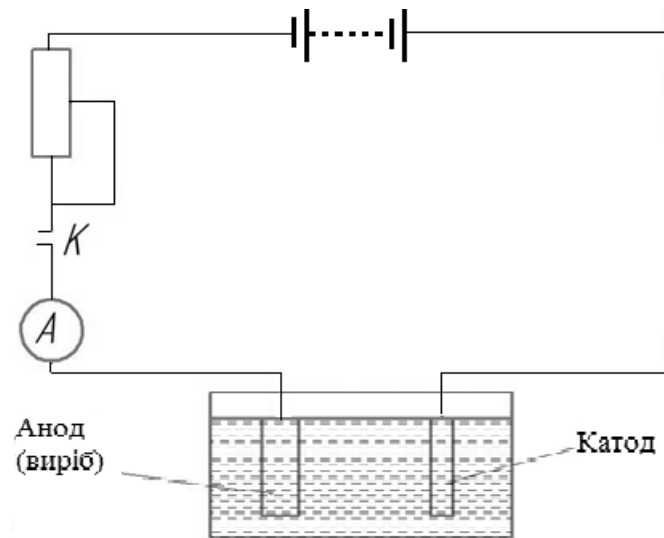


Рис. 4.15. Схема електрополірування

Вище ми розглянули способи викінчуючої обробки зі зніманням шару металу. Проте, в останні часи все ширше застосовується остаточна обробка методом поверхневої пластичної деформації (ППД) металу.

4.2.6. Способи завершальної обробки методом пластичної деформації

Вигладжування алмазним інструментом.

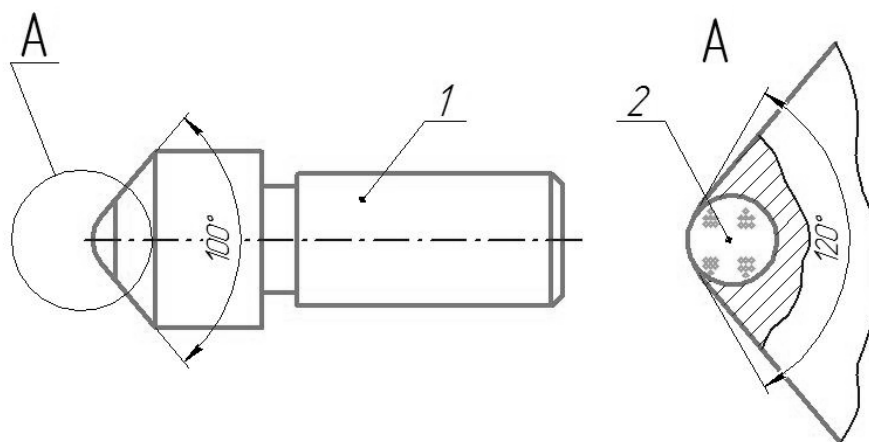


Рис. 4.16. Алмазний вигладжувач (індентор)

Застосовується для остаточної обробки попередньо прошліфованої або тонко обточеної поверхні з кольорових металів, рідше сталей. Інструмент – алмаз в оправці (рис. 4.16), закруглений за радіусом від 0,6 до 4 мм, котрий підтискається до заготовки з певним постійним зусиллям за допомогою вантажу (рис. 4.17), пружини або іншим способом.

Робота виконується за схемою точіння. Швидкість вигладжування становить 50 – 100 м/хв, подача – 0,02–0,08 мм/об. В процесі обробки шорсткість вихідної поверхні досягає R_a 0,16–0,02 мкм, тобто знижується на 2–3 класи. Мікротвердість поверхонь підвищується на 50–60 %, збільшується зносостійкість і міцність втомленості деталей, в поверхневому шарі виникають сприятливі напруги стискання. Тут в зоні контакту – тертя ковзання.

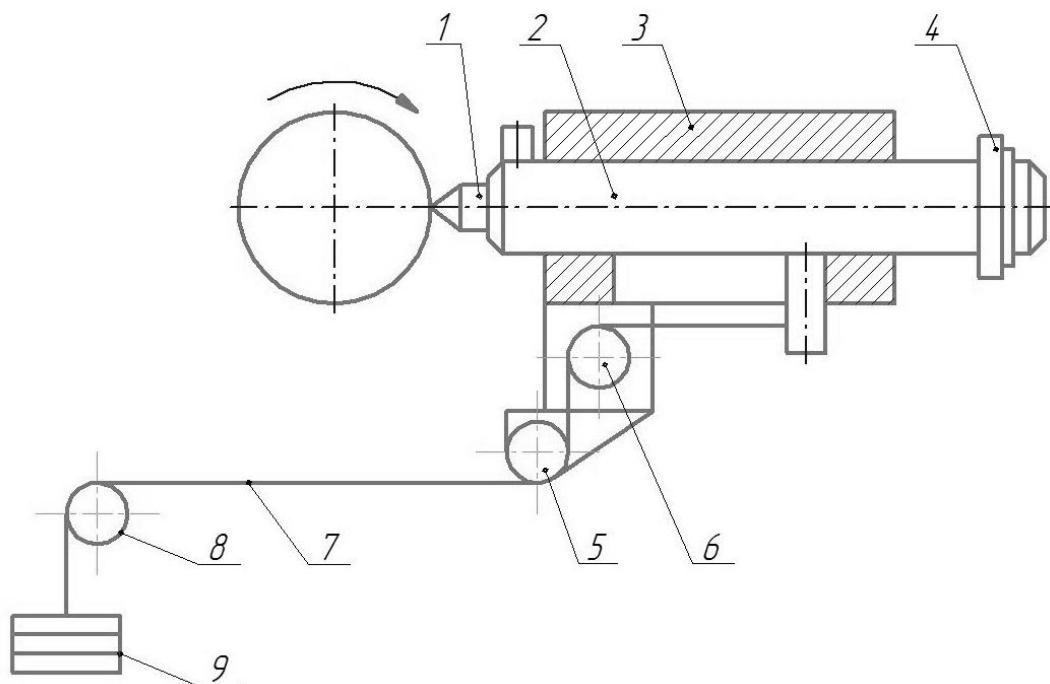


Рис. 4.17. Схема обробки алмазним вигладжувачем

Обкатування поверхонь роликami і кульками.

Це дуже прогресивний процес завершальної обробки зовнішніх і внутрішніх циліндричних і рідше плоских поверхонь методом ППД. У зоні контакту – тертя кочення.

Обкатування може виконуватися як з метою зміцнення деталей (шляхом обкатування окремих концентруючи напруги частин деталі: галтелей, шийок валів, перехідних радіусів, канавок), так і з метою зниження шорсткості поверхонь і підвищення їх твердості і зносостійкості (шляхом суцільного обкатування поверхонь деталей).

На рис. 4.18, а показана схема обкатування зовнішньої поверхні одним роликом, закріпленим у супорті токарного верстата. Ролик притискається пружиною до заготовки з постійною силою. На рис. 4.18, г показана схема розкатування отвору розкатною головкою з чотирма роликами, розміщеними в сепараторі.

Звичайно, при обкатуванні поле розсіювання розмірів поверхні не змінюється, але абсолютні розміри поверхні зменшуються за рахунок зминання мікронерівностей на 0,03–0,06 мм при вихідній шорсткості поверхні R_a 10 мкм, і на 0,01–0,02 мм при шорсткості R_a 2,5 мкм.

Обкатування виконують з швидкістю 30–150 м/хв і досягають шорсткості поверхонь R_a 0,63–0,16 мкм.

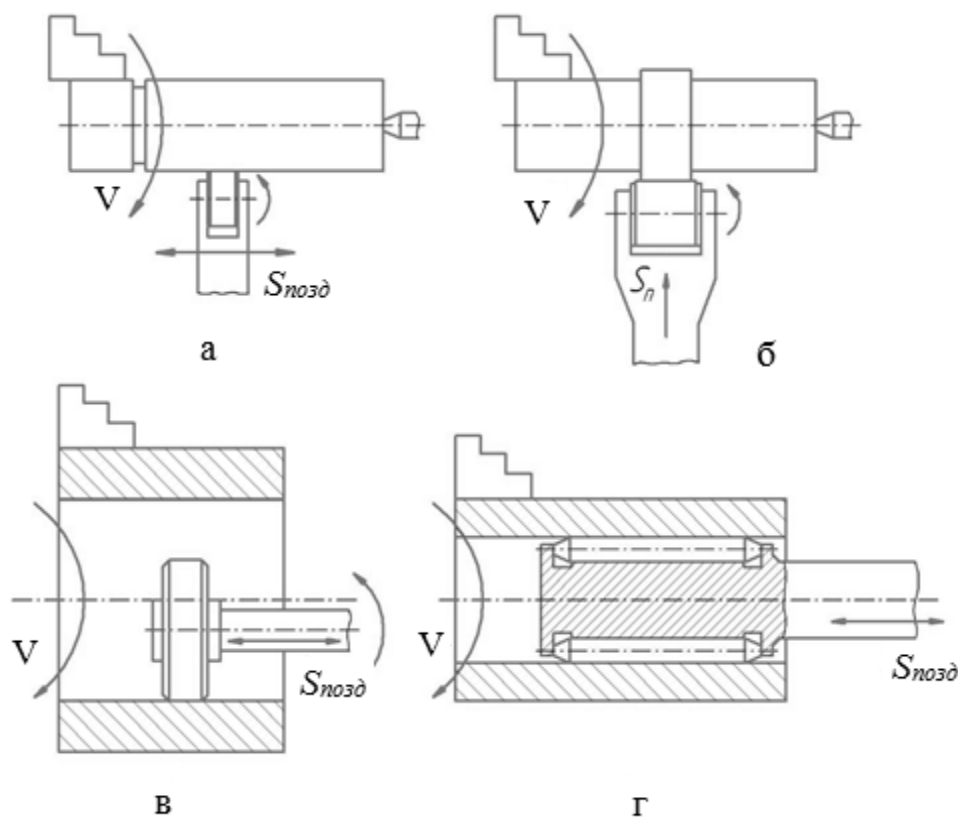


Рис. 4.18. Схеми обробки поверхонь обкатуванням (а, б) та розкатуванням (в, г)

Якщо замість гладкого ролика в оправку вставити ролик з рифленнями, то на заготовці можна накатати насічку, або інший рельєф.

Дорнування застосовується при обробці отворів (рис. 4.19). Найпростіший варіант - прошовхування загартованої кульки більшого діаметра крізь отвір меншого діаметра. Після прошовхування кульки, внаслідок пружних деформацій, діаметр отвору стає дещо меншим від

діаметра кульки. При цьому можна за один перехід отримати шорсткість R_a 1,25 мкм при вихідній R_a 20 мкм.

Цей метод застосовується в складних твердосплавних деформуючих протяжках з сумарною величиною натягу до 0,1 мм. Такі протяжки, при обробці отворів у тонкостінних втулках, дозволяють отримувати шорсткість поверхонь до R_a 0,08 мкм, їх стійкість – до 1 млн. оброблених отворів.

При обробці поверхонь обертання широко застосовується *віброобкатування кульками* (рис. 4.20), коли кулька, крім подачі, отримує осциляційні коливання ΔS . Таке віброобкатування може виконуватися за різними схемами.

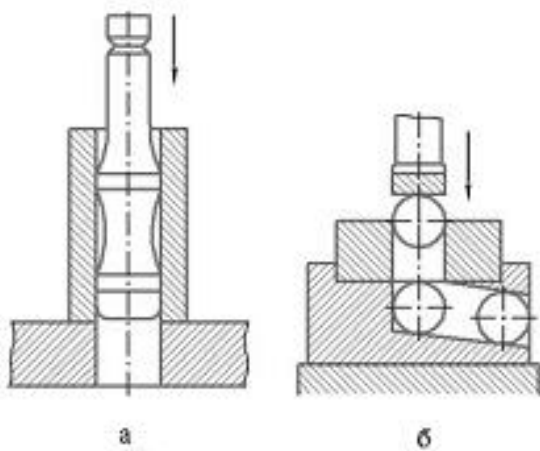


Рис. 4.19. Обробка отворів дорнуванням (а) і калібруванням кулькою (б)

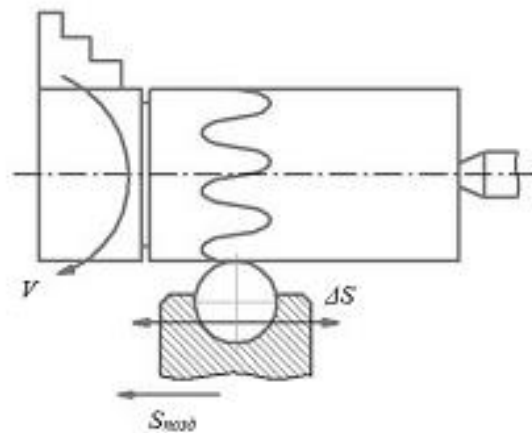


Рис. 4.20. Схема віброобкатування

До достоїнств усіх способів обробки методом ППД можна віднести:

- в обробленому поверхневому шарі виникають доброякісні залишкові напружки стискання, що сприяє підвищенню зносостійкості деталі;
- у результаті наклепу металу поверхневий шар має більш високу твердість, що також підвищує зносостійкість деталі;
- при низькій якості вихідної поверхні – R_a 10 мкм, можна за один перехід отримати шорсткість поверхонь – R_a 0,32 мкм;
- міцність втомлення підвищується в два і більше разів;
- висока продуктивність і стійкість інструмента.

Його недоліки: відносно низька точність обробки; великі сили, що виникають при обкатуванні.

Обкатування дуже широко застосовують при обробці циліндрів, штоків, валів та інших деталей з пластичних матеріалів.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Назвіть остаточні види обробки, їх призначення і можливості?
2. У чому суть і можливості тонкого (алмазного) точіння?
3. В яких випадках застосовують процес хонінгування?
4. У чому особливість процесу притирки (доведення, лапінг-процесу)?
5. В яких випадках застосовують суперфініш, його можливості?
6. У чому суть процесу полірування і його види?
7. Способи завершальної обробки методом пластичної деформації.

4.3. Виготовлення різьб

Нарізування різьб і зубів зубчастих коліс можна виконувати як на універсальних, так і на спеціальних верстатах, які виділені в п'яту групу, що включає такі типи верстатів:

- 50... – різьбонарізні;
- 51... – зубодовбальні для циліндричних коліс;
- 52... – зуборізні для конічних коліс;
- 53... – зубофрезерні для циліндричних коліс і шліцьових валів;
- 54... – зубофрезерні для нарізування черв'ячних пар;
- 55... – верстати для обробки торців зубів коліс;
- 56... – різьбофрезерні;
- 57... – зубовикінчуючі;
- 58... – зубо- і різьбошліфувальні;
- 59... – різні зубооброблюючі

4.3.1. Методи виготовлення різьб

Різьби виготовляють двома методами: зі зніманням стружки – нарізування різьби лезовим або абразивним інструментом на металорізальних верстатах; без знімання стружки – в процесі пластичної деформації заготовок накатуванням або видавлюванням.

Нарізування зовнішніх різьб виконують різцями на токарно-гвинторізних верстатах, гребінками, плашками, різьбонарізними головками, які самі розкриваються, різцевими головками, що обертаються, фрезеруванням, шліфуванням тощо.

Внутрішні різьби нарізають мітчиками, різцями, різьбонарізними головками, фрезеруванням, шліфуванням.

Обробка різьб різанням відрізняється широкою універсальністю, високою точністю, достатньою продуктивністю. Застосовується в ОВ, СВ і МВ.

Накатуванням виготовляють зовнішні різьби на спеціальних різьбонакатних верстатах з плоскими плашками або круглими роликами, а також на універсальних верстатах за допомогою різьбонакатних головок, які працюють з осовою або радіальною подачею.

Внутрішні різьби можна отримувати за допомогою видавлюючих мітчиків.

Накатування різьб відрізняється дуже високою продуктивністю, низькою шорсткістю поверхонь витків (до R_a 0,32 мкм) і досить високою точністю (до 4-го ступеня). Стійкість накатного інструмента дуже висока. Крім того, тому що при накатуванні волокна металу не перерізаються, а вигинаються, то при накатуванні отримують міцніші різьби, ніж при нарізуванні. Мікротвердість накатаних різьб підвищується на 30–50 %, а міцність втомлення – на 60–100 %.

Недоліки накатування різьб:

- практично вигідно накатувати різьби на в'язких, м'яких і пластичних матеріалах з відносним видовженням не меншим 8 %;
- крок накатуваних різьб, звичайно, не перевищує 3 мм, хоч відоме накатування трапецієвидних різьб з кроком 8 мм;
- труднощі, що виникають при накатуванні внутрішніх різьб;
- при накатуванні різьб виникають дуже великі сили, що негативно впливає на точність;
- необхідний точний діаметр заготовки.

Накатування застосовують у МВ і ВСВ, особливо при виготовленні кріпильних деталей і деталей типу „тіла обертання”.

4.3.2. Нарізування різьб різцями

Воно виконується на токарно-гвинторізних верстатах, або різьбонарізних напівавтоматах. ГРР – обертання заготовки навколо своєї осі (рис. 4.21). Величина $S_{позд}$ дорівнює крокові різьби на оберт заготовки. Різьбу нарізають за декілька переходів.

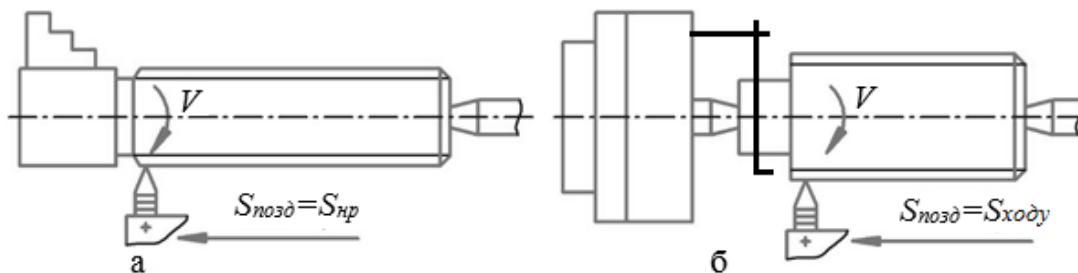


Рис. 4.21. Схеми нарізування однозахідної (а) і багатозахідної (б) різьб

Поперечна подача різця виконується після кожного переходу в напрямку, перпендикулярному до осі заготовки (рис. 4.22, а), або паралельному до бокового профілю витка різьби (рис. 4.22, б, в).

У першому випадку, що застосовується при нарізуванні різьб з кроком до 2 мм, різець знімає жорстку V-подібну стружку, виникають великі силові і теплові навантаження.

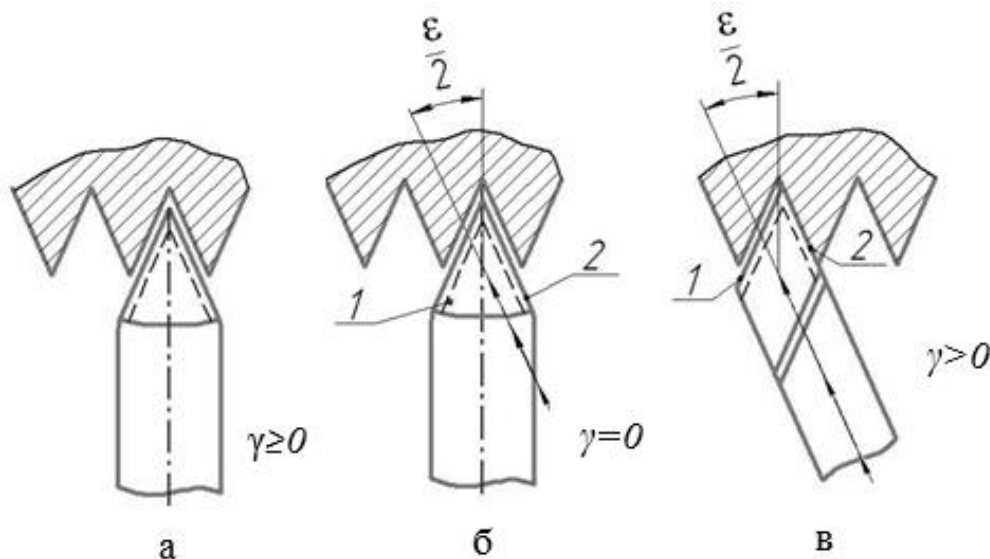


Рис. 4.22. Різні способи подачі різців при нарізуванні різьб трикутного профілю

У другому випадку, що застосовується при нарізуванні різьб з кроком понад 2 мм, зрізається плоска стружка, яка легко деформується, умови різання більш сприятливі, що дозволяє збільшувати поперечну подачу і режими різання, проте, шорсткість поверхонь витків різьби вища. Звичайно, чорнові переходи виконують за другим способом, а чистові – за першим.

Різцями можна нарізувати трикутні метричні і дюймові різьби, трубні, трапецієвидні, упорні, круглі і навіть прямокутні різьби.

Великі трапецієвидні різьби нарізають декількома різцями (рис. 4.23). Величина радіальної подачі складає 0,15–0,3 мм для чорнових і 0,05–0,1 мм для чистових переходів.

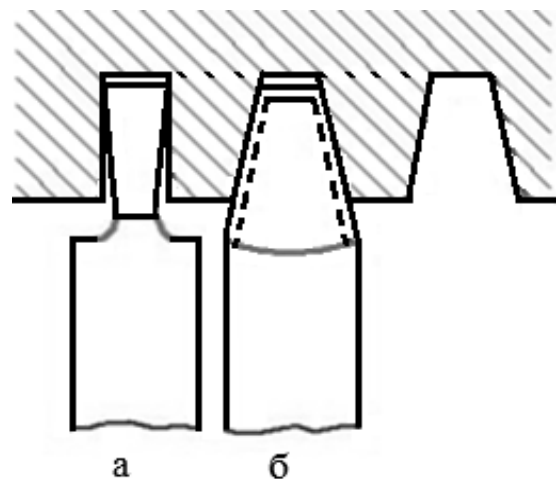


Рис. 4.23. Послідовність нарізування трапецієвидних різьб з середнім кроком

Якщо подача виконується паралельно до бокової поверхні витка, то її збільшують удвоє. Це єдиний спосіб отримання точних різьб на довгих ходових гвинтах у верстатобудуванні.

4.3.3. Нарізування багатозахідних різьб

У таких різьб на торці є декілька виходів ниток і, для їх виготовлення, необхідно виконати поділ кола. Застосовують три способи вирішення завдання.

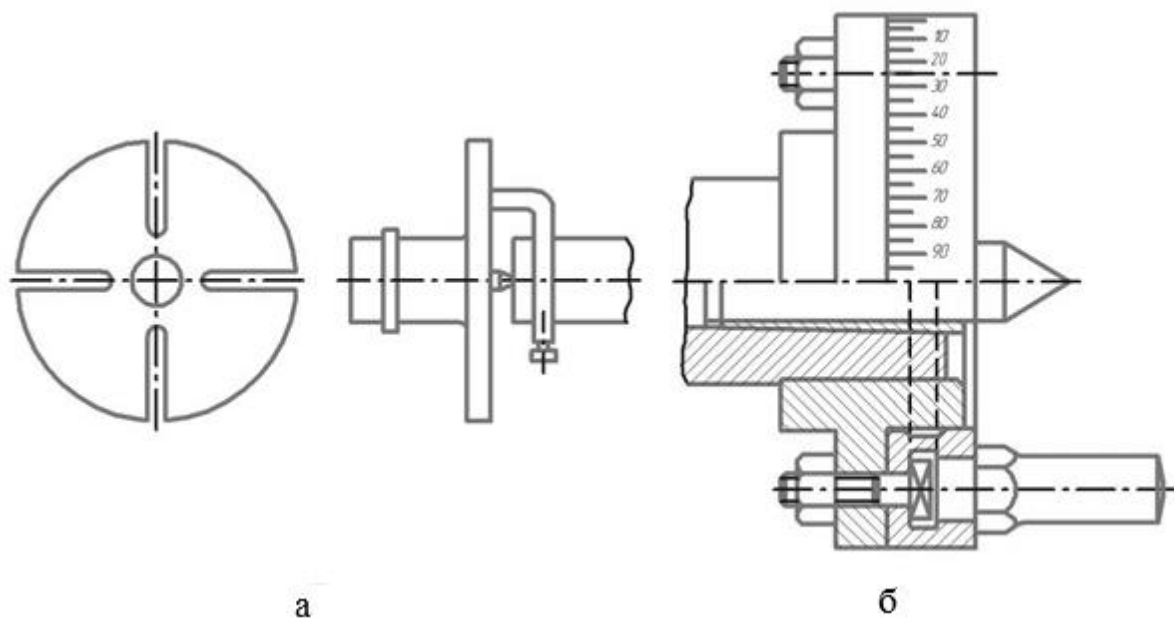


Рис. 4.24. Повідкові патрони для нарізування багатозахідних різьб

За першим способом, що найширше застосовується, після нарізування однієї нитки різьби заготовка за допомогою спеціального патрона (рис. 4.24) повертається на $360^\circ/k$ частину оберту, де k —кількість заходів різьби. Після цього нарізають другу нитку і т.д.

За другим способом - після нарізування однієї нитки різьби за допомогою верхніх полозків супорта різець зміщують відносно заготовки в осьовому напрямі на величину кроку різьби $h = \frac{S}{k}$, де S – хід різьби, k – кількість

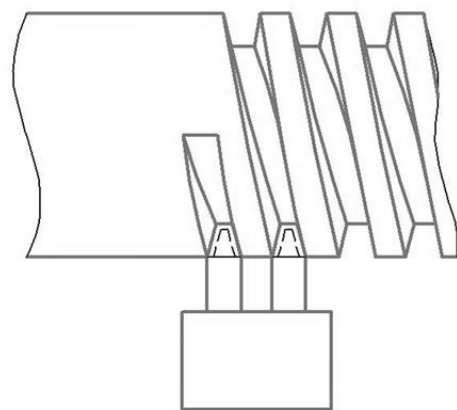


Рис. 4.25. Схема нарізування двозахідної різьби блоком різців

заходів, і нарізають другу нитку і т.д.

За третім способом – різьбу нарізують блоком з k різців (рис. 4.25), які зміщені уздовж осі на $\frac{S}{k}$, тобто на величину кроку різьби p .

Це найбільш продуктивний і точний метод, але дорогий інструмент, виникають великі сили різання, збільшується збіг різьби.

4.3.4. Нарізування різьб гребінками

Різьбонарізна гребінка представляє собою якби блок різьбових різців (рис. 4.26).

Різальна частина гребінки (рис. 4.26, б) зрізана під кутом ϕ так, що кожний наступний зуб вищий від попереднього на товщину зрізуваної стружки a .

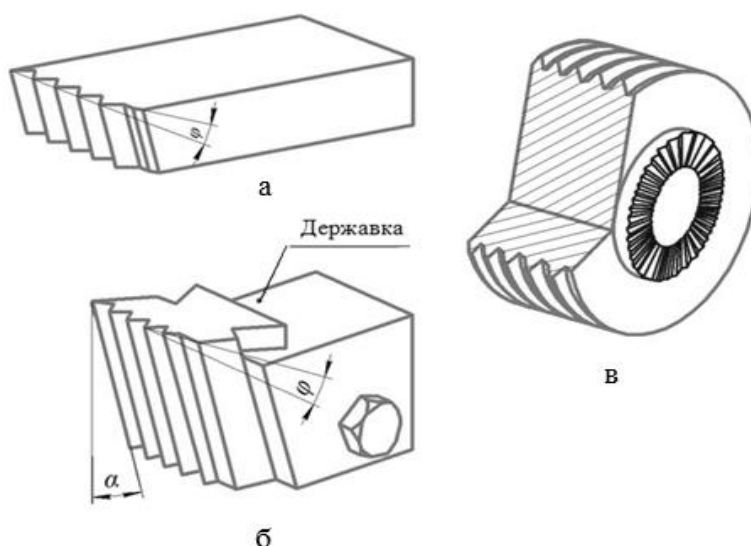


Рис. 4.26. Стержньова (а), призматична (б) і кругла (в) гребінки

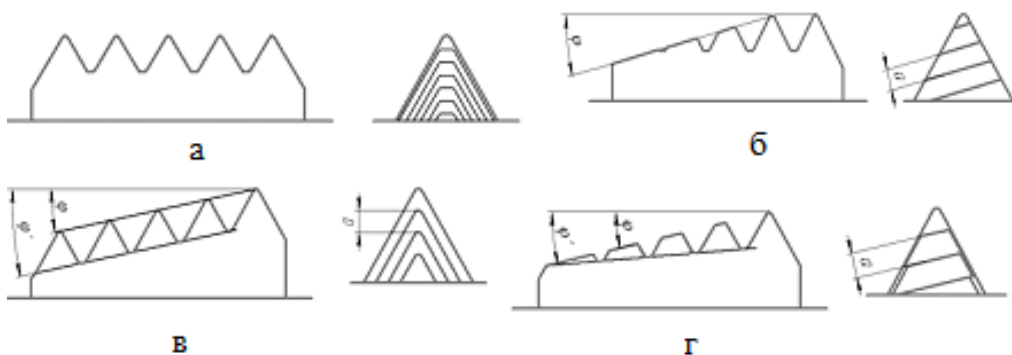


Рис. 4.27. Схеми розміщення зубів багатониткових гребінок

Як і різці, гребінки працюють з примусовою поздовжньою подачею на величину кроку різьби. Застосовується при нарізуванні конічних різьб на бурових трубах, при нарізуванні різьб на токарно-револьверних верстатах тощо.

4.3.5. Нарізування різьб круглими плашками

Плашка (рис. 4.28) – це якби загартована гайка з різьбою, в якій для утворення різальних кромки і місця для відведення стружки просвердлені отвори (вікна для стружки). З двох торців плашка має різальний заборний конус, заточений під кутом ϕ , і після затуплення з одного боку може працювати другий.

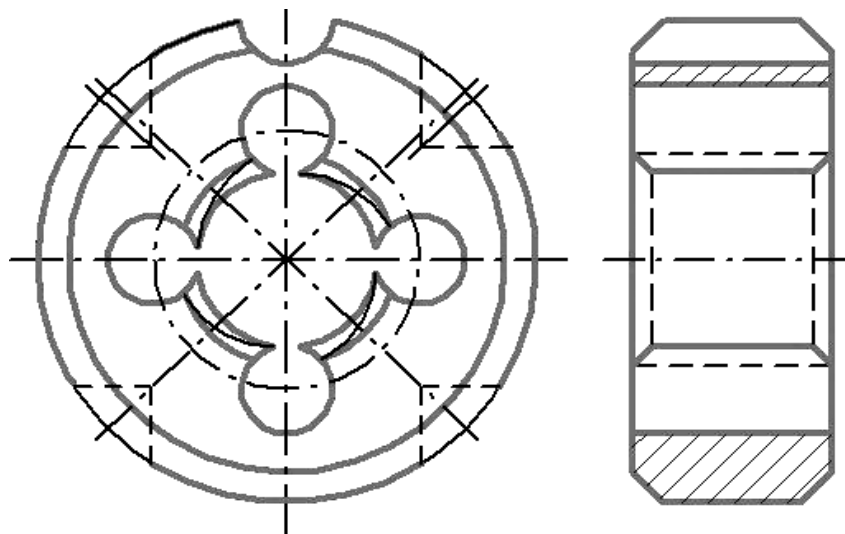


Рис. 4.28. Кругла різьбонарізна плашка

До врізання в обточений стержень з фаскою плашка подається примусово, а після – самозатягуванням. У кінці нарізування обертання заготовки реверсується і плашка згвинчується.

Плашки застосовують для нарізування дрібних зовнішніх різьб в ОВ і СВ на токарно-револьверних верстатах і токарних автоматах. Вони відрізняються простотою, малими розмірами і низькою вартістю. Їх недоліки: низька продуктивність, тому що швидкість різання (2–4 м/хв) невелика і витрачається час на згвинчування; низька точність нарізуваних різьб – не вища 8-го ступеня; висока шорсткість поверхонь різьб; в результаті дуже важких умов різання можливі зриви різьби і викришування плашок.

Плашки – інструмент минулого часу і їх замінюють більш прогресивними різьбонарізними головками.

4.3.6. Нарізування різьб головками, які самі розкриваються

В залежності від конструкції гребінок (рис. 4.29), різьбонарізні головки розділяються на головки: а – з радіальними призматичними гребінками; б – з тангенціальними гребінками; в – з круглими гребінками.

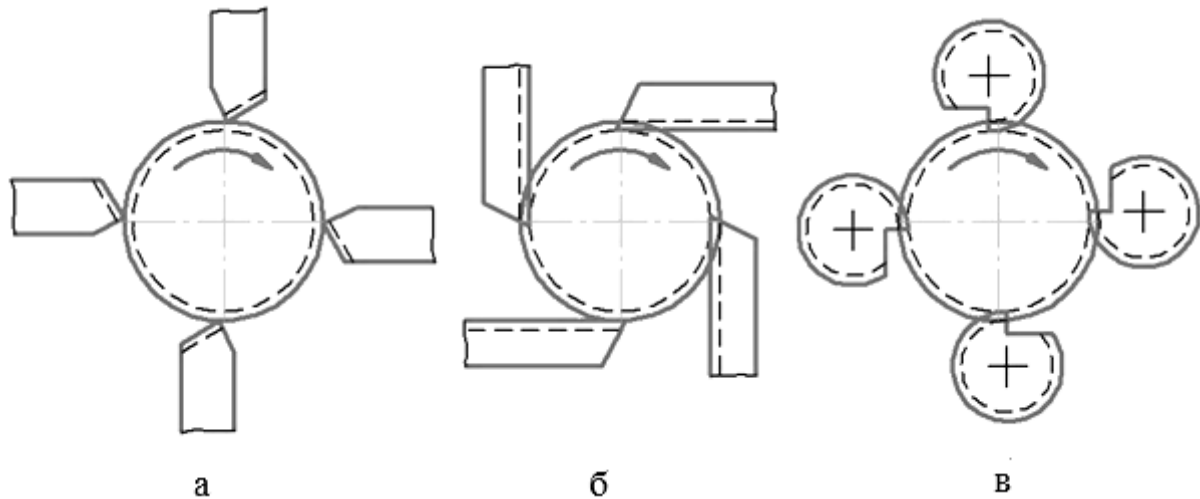


Рис. 4.29.Схеми різьбонарізних головок, які самі розкриваються

Вони працюють за принципом плашки, але в кінці нарізування зовнішньої різьби головки автоматично розкриваються і швидко, без згвинчування, відводяться у вихідне положення.

У МВ і СВ найширше застосовують головки з круглими гребінками. Вони дозволяють нарізувати різьби діаметром від 4-х до 60 мм з величиною кроку до 4 мм. Швидкорізальні гребінки працюють з швидкістю до 16 м/хв і допускають 40–60 переточок до повного зносу. Головки дозволяють нарізувати різьби до 4-го ступеня точності з шорсткістю поверхонь, яка дорівнює $R_a 1,25$ мкм.

Головки дозволяють регулювати середній діаметр нарізуваної різьби в межах ± 1 мм. Продуктивність нарізування висока.

4.3.7. Нарізування різьб різцевими головками, що обертаються (вихрове)

Різцева головка – це спеціальний інструмент з твердосплавними різцями (рис. 4.30), виставленими так, що їх різальні кромки за один оберт головки прорізають повний профіль канавки між витками. Різцеві головки можуть бути зовнішнього (а) і внутрішнього (б) торкання, ними можна нарізувати як зовнішні, так і внутрішні різьби великих діаметрів.

Головку установлюють на супорті токарно-гвинторізного верстата, вона має індивідуальний привод.

Вісь обертання головки нахилена до осі заготовки під кутом підйому витка різьби ω . ГРР – незалежне обертання головки здійснюється з швидкістю до 300 м/хв. Головка має узгоджену поздовжню подачу, що дорівнює крокові нарізуваної різьби на один оберт заготовки. Нарізування різьби виконується за один перехід. Це дуже високопродуктивний спосіб і застосовується в МВ і ССВ для виготовлення великих різьб. Його недоліки в низькій точності і неможливості нарізувати прямокутні різьби.

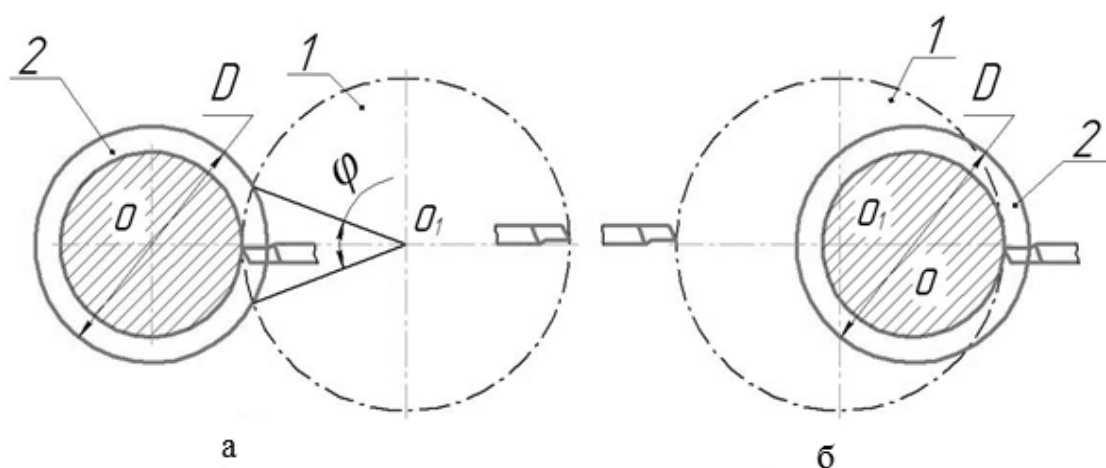


Рис. 4.30. Схеми нарізування різьб різцевими головками зовнішнього (а) і внутрішнього (б) торкання

4.3.8. Фрезерування різьб

Виконується на різбофрезерних верстатах (мод. 5Б63 та ін.). Крупні різьби фрезерують профільними дисковими фрезами (рис. 4.31). ГРР – незалежне обертання фрези. На один оберт заготовки фреза, що установлена під кутом ω , рівним кутові підйому середньої лінії витка різьби, отримує поздовжню подачу, що дорівнює крокові різьби на один оберт заготовки.

Короткі дрібні різьби фрезерують гребінчастими фрезами з кільцевими витками (рис. 4.32). Фреза незалежно обертається, виконуючи ГРР, і має незалежну поперечну подачу врізання.

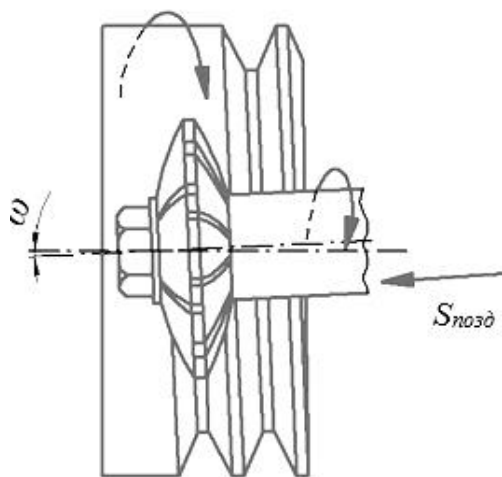


Рис. 4.31. Схема нарізування різьби дисковою фрезою

Крім того, фреза отримує узгоджену поздовжню подачу, що дорівнює крокові різьби на один оберт заготовки. Вісь фрези паралельна до осі заготовки. Повністю різьба нарізається зразу по всій довжині за 1,3 оберту заготовки. Для цього довжина фрези повинна дещо перекивати довжину нарізуваної різьби.

За аналогічними схемами виконується шліфування різьби одно- і багатонитковими профільними кругами.

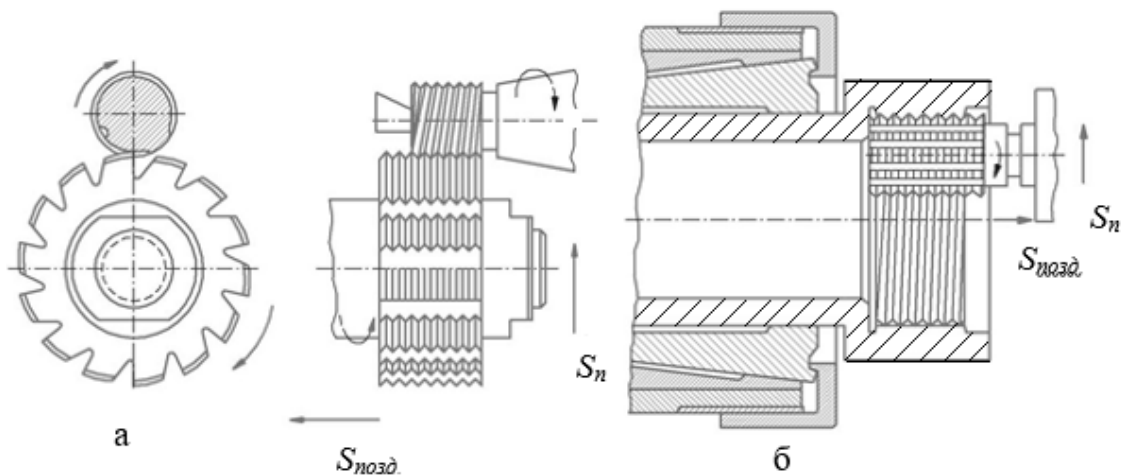


Рис. 4.32. Схеми нарізування зовнішньої (а) та внутрішньої (б) різьби груповими (гребінчастими) фрезами

4.3.9. Нарізування внутрішніх різьб мітчиками

Це практично єдиний спосіб отримання внутрішніх різьб малих діаметрів від 2 до 35 мм. Мітчик – це інструмент, який представляє собою якби загартований гвинт, в якому для утворення різальних кромки і розміщення стружки профрезеровані поздовжні канавки (рис. 4.33).

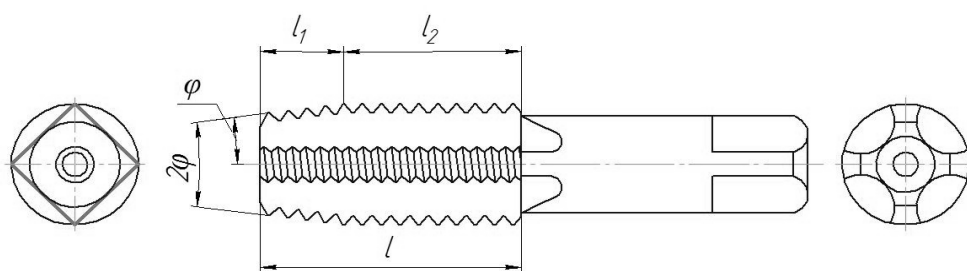


Рис. 4.33. Конструкція мітчика

Виготовляють мітчики з швидкорізальних сталей Р6М5, Р6М3 і гартують до твердості HRC 62–65. Вони мають забірну різальну конічну

частину l_1 і калібруючу частину l_2 . Мітчик вгвинчують у попередньо просвердлений отвір з фаскою і нарізають в ньому різьбу за один або два переходи. Умови роботи мітчика дуже важкі, тому швидкість різання не перевищує 15 м/хв, а для важкооброблюваних сталей $V \leq 0,5\text{--}2$ м/хв. Мітчики дозволяють нарізувати різьби до 4-го ступеня точності з шорсткістю витків R_a 1,25 мкм. Тому що мітчики часто ламаються, то їх закріплюють у спеціальних запобіжних патронах.

4.3.10. Накатування різьб

Найширше застосовують такі способи накатування різьб.

Накатування зовнішніх різьб плоскими плашками на плосконакатних верстатах.

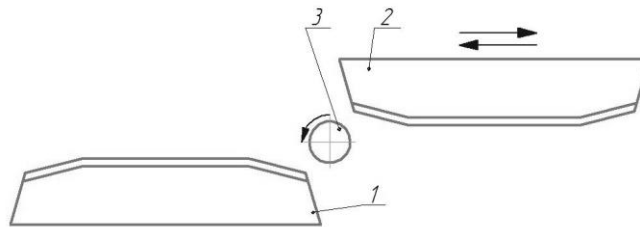


Рис. 4.34. Схема накатування різьби плоскими плашками

Плоскі плашки мають профрезеровані западини, нахилені під кутом ω підйому витка різьби до напрямку переміщення (рис. 4.34) рухомої плашки. При переміщенні рухомої плашки 2 відносно нерухомої 1, на заготовці 3 накатується різьба 8–6 ступеня точності з шорсткістю поверхонь витків R_a 1,25–0,63 мкм. Застосовується в МВ для виготовлення кріпильних деталей з діаметром різьби до 35 мм і кроком – до 3 мм.

Накатування роликами (рис. 4.35, в) з шліфованою багатозахідною різьбою, які працюють з радіальною подачею. Два ролики 3 синхронно обертаються в одному напрямі. Виступи витків одного ролика знаходяться навпроти западин другого. При подачі рухомого ролика в напрямі А, на заготовці 1, що установлена на ножі 2, накочується різьба. Точність накатаної різьби – до четвертого ступеня точності, шорсткість поверхонь витків – до R_a 0,32 мкм. Діаметр накатаних різьб – до 100 мм. Це найточніший спосіб накатування різьб.

Накатування різьб головками, що працюють з осьовою подачею, на універсальних верстатах. Головка 4 (рис. 4.36), яка сама розкривається, має три ролики 2 з кільцевими витками, які вільно обертаються на осях 3. Осі роликів нахилені до осі заготовки 1 під кутом підйому витка різьби ω .

Витки різних роликів зміщенні в осьовому напрямі один відносно другого на $1/3$ кроку накатуваної різьби так, що вони утворюють гвинтову лінію.

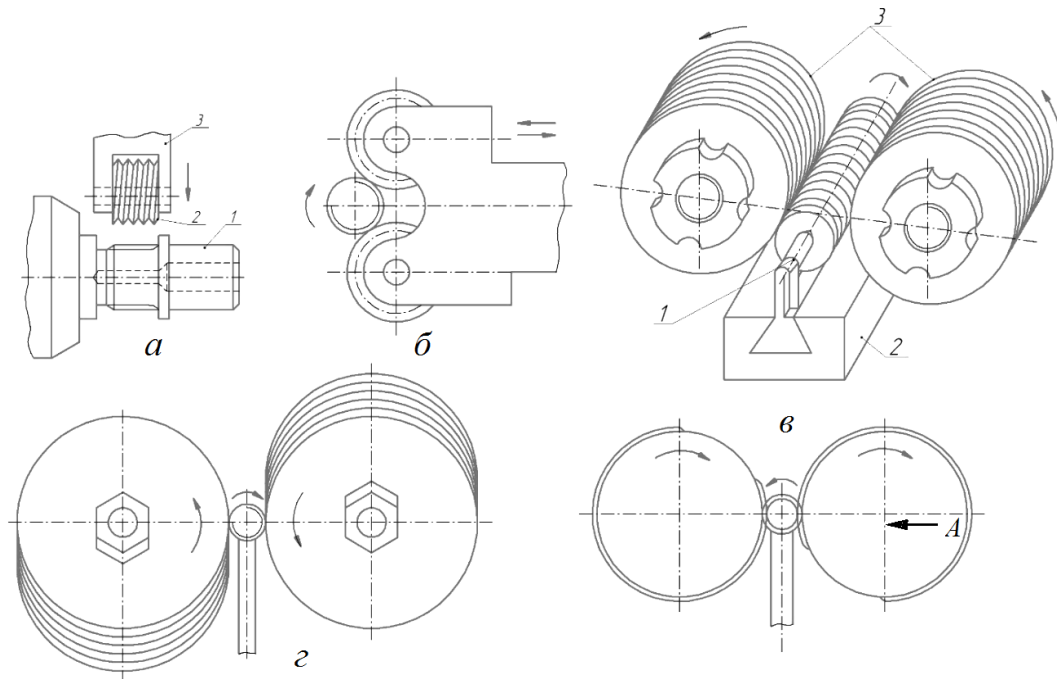


Рис. 4.35. Схеми накатування різьб роликами

На початку роботи головка, примусово подається на точно обточену заготовку з пологою фаскою до вкатування в неї, а далі – самозатягуванням. У кінці накатування головка автоматично розкривається і відводиться з заготовки без реверсування обертання головки (заготовки). Головний робочий рух на токарних верстатах виконує заготовка, а на свердильних – головка.

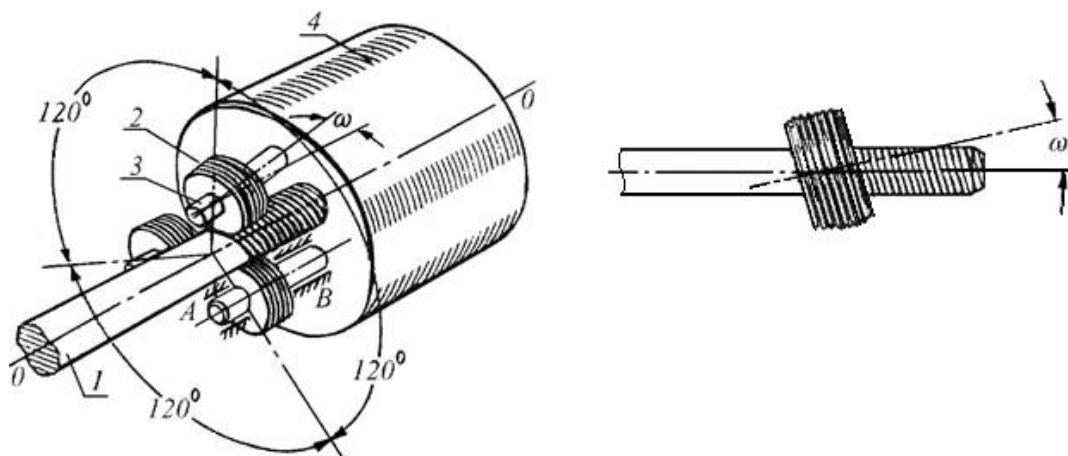


Рис. 4.36. Схема різенакатувальної головки, яка працює з осьовою подачею

Головки, що працюють з поперечною (радіальною) подачею мають два ролики з шліфованою багатозахідною різьбою (рис. 4.35, б), які синхронно обертаються від тертя об заготовку, яка обертається. При поперечній подачі головки на заготовці накатується різьба до шостого ступеня точності. Застосовується для накатування зовнішніх коротких різьб з поперечних супортів токарних автоматів.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які методи виготовлення різьб застосовують в машинобудуванні?
2. Назвіть способи нарізування зовнішніх різьб різцями?
3. Які способи і особливості нарізування багатозахідних різьб?
4. Назвіть види гребінок для нарізування різьб?
5. Які переваги та недоліки нарізування різьб круглими плашками?
6. Назвіть схеми різьбонарізних головок, які самі розкриваються?
7. Назвіть види різцевих головок, що обертаються (вихрове нарізування)?
8. Як здійснюється нарізування різьб фрезеруванням?
9. Які переваги та недоліки нарізування внутрішніх різьб мітчиками?
10. Які переваги та недоліки накатування різьб?

4.4. Нарізування зубів зубчастих коліс

4.4.1. Види зубчастих коліс

У машинобудуванні застосовують циліндричні, конічні і черв'ячні зубчасті колеса.

Циліндричні колеса найбільше розповсюджені і вони можуть бути одно або багатовінцевими, з прямими, косими або шевронними зубами.

Конічні колеса можуть мати прямі, косі або криволінійні зуби.

Зубчасті колеса виготовляють, переважно, зі сталей 45, 40Х, 35ХГС, 15Х, 20Х та ін., рідше з чавунів СЧ20, СЧ24, текстоліту, бронзи. Колеса з високим вмістом вуглецю (0,40–0,45 %) можуть термічно оброблюватися (сирі, поліпшені або загартовані), а з малим вмістом вуглецю – цементуються і гартуються.

З дванадцяти ступенів точності (ГОСТ 1643–81), 1-ий і 2-ий перспективні, а на 12-ий ступені граничні відхилення ГОСТ не передбачає.

У хімічному машинобудуванні, в залежності від призначення, застосовують зубчасті колеса 6–8-го ступеня точності.

Зубчасті колеса виготовляють нарізуванням зубів і накатуванням, яке ще не знайшло широкого застосування.

4.4.2. Методи нарізування зубів зубчастих коліс

Застосовують два методи нарізування і завершальної обробки зубів зубчастих коліс: метод копіювання і метод обкатки (обгинання).

При обробці за методом копіювання, профіль западини між зубами нарізуваного колеса є копією профілю різальних кромek інструмента. Наприклад, як при прорізуванні западин дисковою модульною фрезою (рис. 4.37, а), або пальцевою модульною фрезою (рис. 4.37, б).

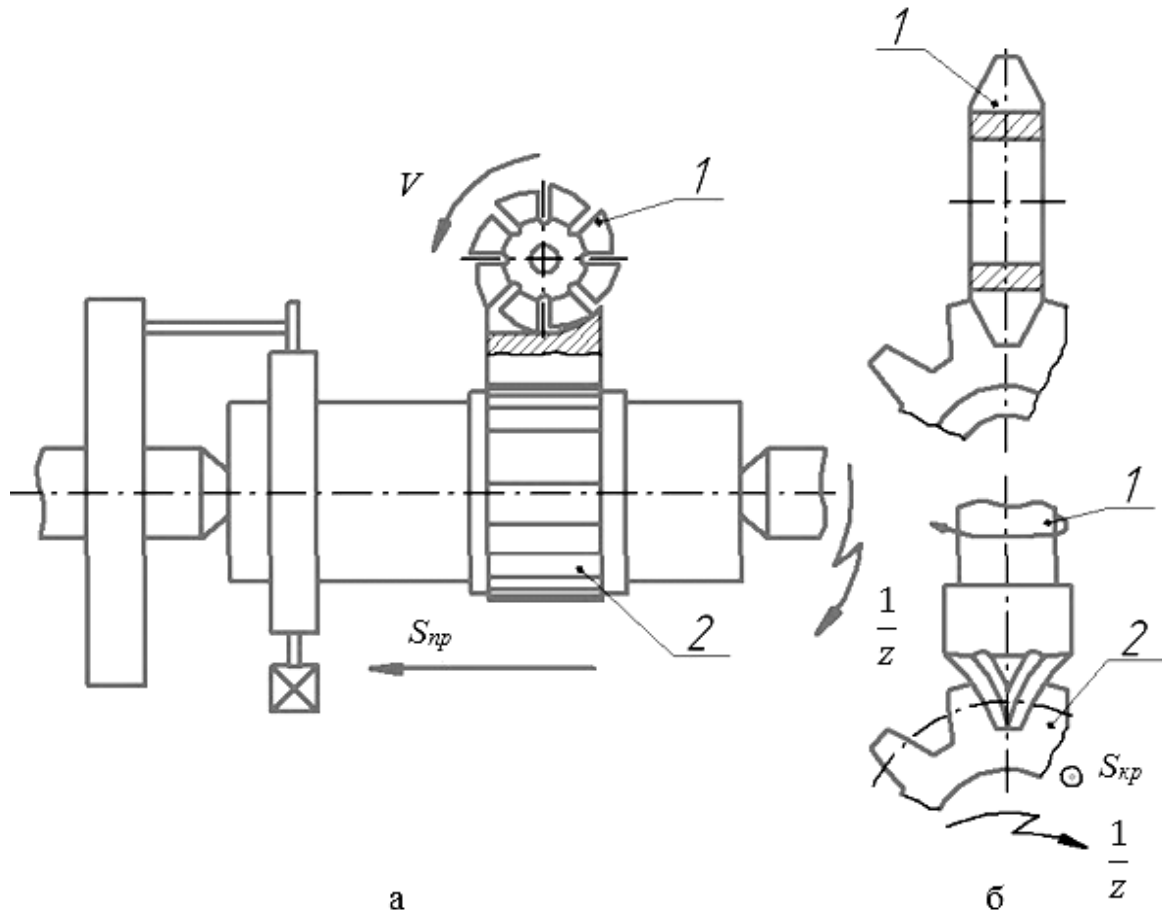


Рис. 4.37. Схеми фрезерування зубів за методом копіювання

За методом копіювання нарізують зуби циліндричних коліс такими способами: фрезерування зубів дисковими і пальцевими модульними фрезами; контурне довбання зубів багаторіздцевими головками; протягування зубів осьовими і дисковими протяжками; шліфування зубів фасонними модульними кругами тощо.

Застосовують такі способи нарізування конічних зубчастих коліс за методом копіювання: чорнове фрезерування прямозубих коліс дисковими модульними фрезами; кругове протягування зубів прямозубих коліс

дисковими (круговими) протяжками; протягування зубів коліс з криволінійним зубом торцевими головками-протяжками.

У зв'язку з тим, що форма евольвенти залежить від діаметра основного кола колеса, то при обробці за методом копіювання для кожного діаметра колеса потрібен свій спеціальний інструмент. Звичайно, зуборізні інструменти виготовляють для певного діапазону діаметрів нарізуваних коліс (тобто вводиться методична похибка), що знижує їх точність.

Більшість способів копіювання відрізняється низькою точністю і продуктивністю обробки.

Для нарізування зубів зубчастих коліс за методом копіювання в кінематиці верстата повинні бути передбачені такі рухи: незалежний головний рух різання (інструмента); рух поздовжньої подачі уздовж западини між зубами; ділильний рух повороту нарізуваного колеса на один або декілька зубів.

Суть методу обкатки (обгинання) в тому, що в процесі нарізування зубів колеса відтворюється зачеплення спряжених коліс зубчастої пари, з котрих одно є нарізуваною заготовкою, а друге - різальним інструментом.

На відміну від методу копіювання, при обкатці профіль зуба інструмента не відповідає профілеві западини нарізуваного колеса, тому що остання (западина) формується як обвідна ряду послідовних положень різальних кромek інструмента, які вони займають в процесі руху обкатки.

Наприклад, з курсу ТММ відомо, що при обкатувальному русі рейки з прямобічними зубами на колесі утворюються зуби евольвентного профілю (рис. 4.38, б).

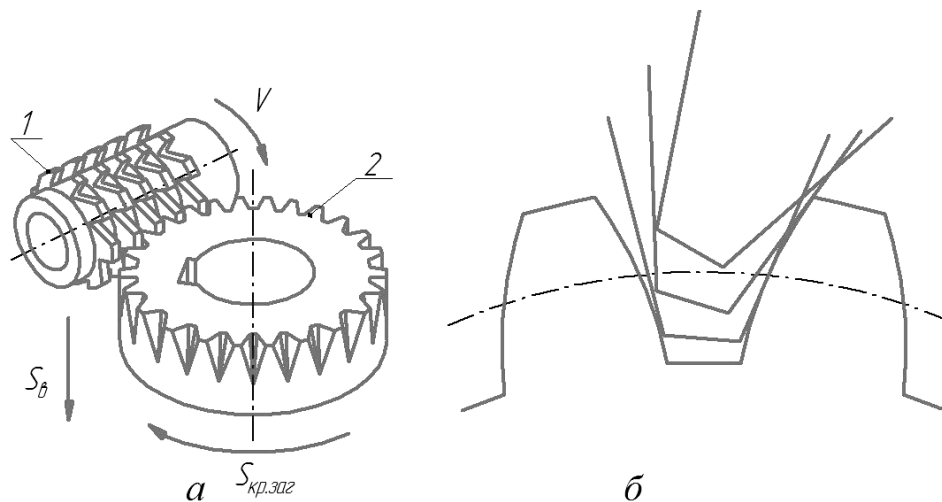


Рис. 4.38. Схеми формоутворення зубів за методом обкатки

Достоїнства методу обкатки: висока продуктивність і точність обробки; можливість одним інструментом одного модуля нарізати колеса

будь-якого діаметру. Його недоліки: складний інструмент і обладнання, їх висока вартість.

Застосовують такі способи нарізування зубів циліндричних коліс за методом обкатки: фрезерування зубів черв'ячними фрезами; довбання зубів круглими довбачами; стругання зубів прямобічними гребінками (рейками); шевінгування зубів дисковими шеверами; шліфування зубів двома тарілчастими кругами та ін.

4.4.3. Нарізування зубців циліндричних коліс дискових і пальцевими модульними фрезами

Воно виконується за методом копіювання на універсальних фрезерних верстатах з застосуванням ділильних головок. Застосовується в ОВ і МСВ, а також при виготовленні великомодульних коліс.

Головний рух різання – незалежне обертання фрези 1 (рис. 4.37, а) з швидкістю V , м/хв. Стіл з заготовкою 2 виконує поздовжню подачу $S_{позд}$ уздовж прорізуваної западини між зубами. Після прорізування однієї западини, заготовку, за допомогою ділильної головки, повертають на один або декілька зубів і процес продовжується.

У залежності від величини модуля зуба, за один або декілька переходів прорізають западини між зубами профільованими модульними фрезами.

Для нарізування зубів застосовують комплекти, що складаються з 8, 15 або 26-ти дискових модульних фрез. Наскільки більше фрез у комплекті, настільки точніші колеса можна нарізати. Кожна фреза комплекту призначена для нарізування коліс певного діапазону діаметрів.

Дискові фрези досить жорсткі і дозволяють працювати з такими подачами: $S_z = 0,1\text{--}0,2$ мм/зуб, при обробці різних сталей, і при обробці чавунів $S_z = 0,18\text{--}0,24$ мм/зуб. Швидкість різання швидкорізальними фрезами 20 – 40 м/хв, твердосплавними – 80–200 м/хв.

Пальцеві (кінцеві) модульні фрези (рис. 4.37, б), звичайно, застосовують для нарізування зубів суцільних шевронних коліс і для циліндричних коліс з модулем понад 20 мм тому, що при такому модулі габарити дискової фрези стають дуже великими. Кінцеві фрези менш жорсткі, ніж дискові, і працюють у більш важких умовах. Тому при нарізуванні зубів модуля 20 мм подача $S_o = 0,1$ мм/об, а швидкість різання $V = 10$ м/хв.

Достоїнства методу копіювання: простота обладнання, інструмента і способів обробки.

Його недоліки: відносно низька продуктивність обробки, як результат великого шляху врізання фрези, затрат часу на ділення кола, на

переміщення стола з заготовкою, по чергово обробляється тільки одна западина.

Низька точність обробки обумовлена невідповідністю теоретичного профілю інструмента і фактичного (діапазон діаметрів коліс), а також заміною евольвентного профілю дугами кола (для спрощення виготовлення модульних фрез), неточністю ділильних пристроїв, неспіввісністю установки заготовки відносно фрези.

4.4.4. Нарізування зубців циліндричних коліс черв'ячними фрезами

Черв'ячними фрезами на зубофрезерних верстатах (мод. 5М32 та ін.) нарізають циліндричні колеса з прямими і косими зубами, черв'ячні колеса, шліцьові вали, зірки роликів ланцюгових передач тощо.

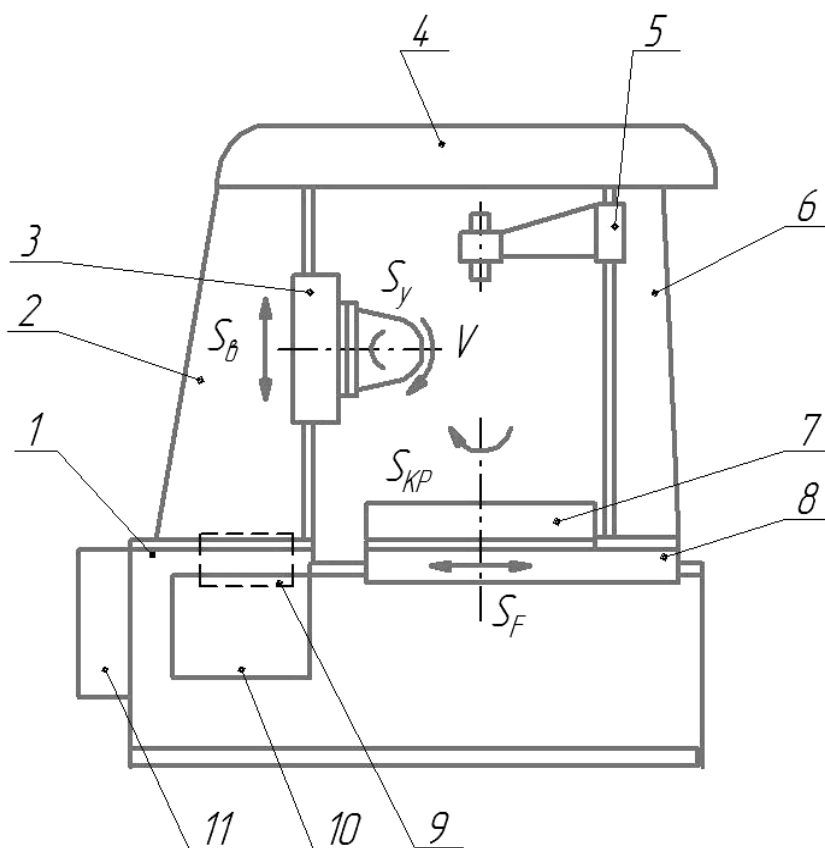


Рис. 4.39. Загальний вигляд зубофрезерного верстата

Зубофрезерний верстат (рис. 4.39) має станину 1, на якій установлений передній стійок 2 з направляючими для рухомого фрезерного супорта 3. На задньому стійку 6 з направляючими базується кронштейн 5.

Оброблювана заготовка закріплюється на вертикальній оправці, яка установлюється в столі 7 і центрі кронштейна 5. ГРР – обертання фрези з швидкістю V м/хв; заготовка має кругову подачу $S_{кр}$; фрезерний супорт має вертикальну подачу S_v , а стіл – радіальну подачу врізання S_r .

Інструмент – черв'ячна фреза (рис. 4.40). Це одно- (рідше дво- або трьох-) заходний черв'як, який має профіль нормального перерізу гвинтових ниток у вигляді прямобічної зубчастої рейки. Для утворення різальних зубів, він прорізаний 8–12-ма поздовжніми (осьовими) канавками, а зуби затиловані. Таким чином, черв'ячна фреза – це ніби набір з 8–12-ти прямобічних зубчастих рейок, розміщених на циліндрі.

Нарізування зубів черв'ячними фрезами оснований на властивості евольвентних зубчастих коліс з будь-якою кількістю зубів правильно зачіплюватися, тобто котитися без ковзання, з прямобічною зубчастою рейкою. На верстаті відтворюється таке зачеплення і при послідовному обгинанні заготовки колеса (рис. 4.38) прямолінійними різальними кромками зубчастої рейки, на ній нарізають зуби евольвентного профілю.

Для забезпечення руху обкатки фрези і заготовки, необхідно, щоб на кожен оберт фрези, заготовка поверталася би на кількість зубів, що дорівнює числу заходів фрези, тобто передаточне відношення відтворюваної пари $i = z/k$. В даному випадку: z – кількість зубів нарізуваного колеса, k – число заходів фрези.

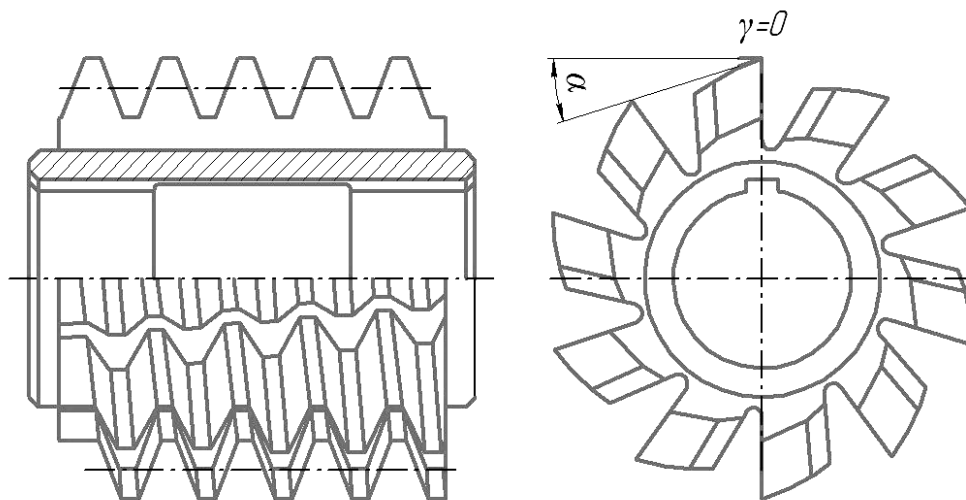


Рис. 4.40. Черв'ячна модульна фреза

Для збігання напрямку руху витків черв'ячної фрези і западин нарізуваного прямозубого колеса, кут λ нахилу осі фрези (рис. 4.41, б) дорівнює куту ω підйому гвинтової лінії черв'ячної фрези.

При нарізуванні косозубих коліс (рис. 4.41, в) $\lambda = \omega - \beta$ при однаковому напрямі нахилу витків черв'ячної фрези і нарізуваного зуба, і $\lambda = \omega + \beta$ – при різному напрямі, де β – кут нахилу нарізуваних зубів.

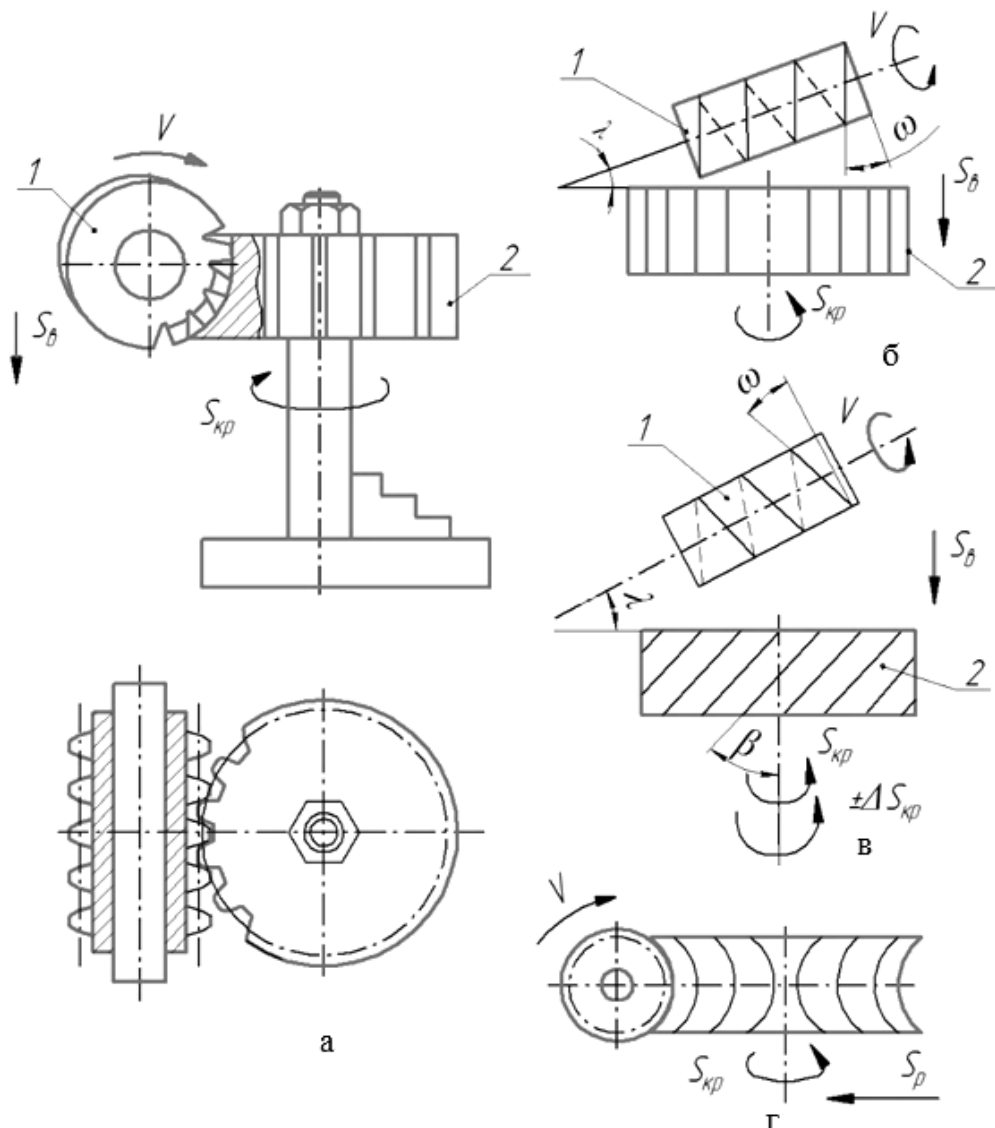


Рис. 4.41. Схеми нарізування зубів на зубофрезерному верстаті

ГРР з швидкістю V виконується фрезою безперервно. Крім узгодженого обертання фрези і заготовки, фреза має вертикальну подачу S_b , а при нарізуванні косозубих коліс – ще і додаткове диференціальне обертання $\pm \Delta S_{кр}$.

Цей спосіб, завдяки високій продуктивності і точності, що дозволяє досягати 7–8 ступеня з R_a 2,5 мкм, найширше застосовується в МВ і СВ. Зубчасті колеса з модулем до 2,5 мм нарізають за один перехід, а з модулем понад 2,5 мм – за два-три переходи. Для підвищення

продуктивності застосовують одночасну обробку декількох коліс у пакеті, підвищені режими різання, твердосплавні фрези.

Недоліки способу: висока вартість верстатів і інструмента; неможливо нарізати блочні зубчасті колеса.

4.4.5. Нарізування зубців циліндричних коліс на зубодовбальних верстатах

На зубодовбальних верстатах (мод. 5140 та ін.) виконують чорнове і чистове нарізування циліндричних зубчастих коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення з прямими і косими зубами, рейок, зірок тощо. Зубодовбання є єдиним способом виготовлення блочних зубчастих коліс, коліс внутрішнього зачеплення малих діаметрів тощо.

Зубодовбальний верстат має станину 1, на якій установлений стіл 2 з заготовкою 9 (рис. 4.42). На стояку з направляючими 7 установлений супорт 4 з шпинделем 8, в якому кріпиться довбач. ГРР – вертикальний прямолінійно-зворотний рух довбача з робочою швидкістю V_p і більшою холостою – V_x . Крім того, передбачена кругова подача довбача $S_{кр}$, яка узгоджена з круговою подачею заготовки $S_{кр. заг}$, а також радіальна подача супорта S_p , що здійснюється по направляючих 7.

Нарізування зубів круглими довбачами виконується за методом обкатки і оснований на відтворенні зачеплення пари двох зубчастих коліс, одне з котрих є ПІ, а друге – заготовкою колеса.

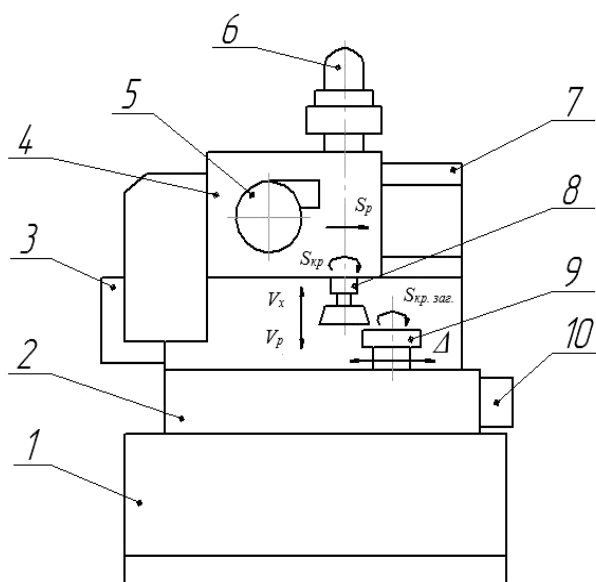


Рис. 4.42. Загальний вигляд зубодовбального верстата

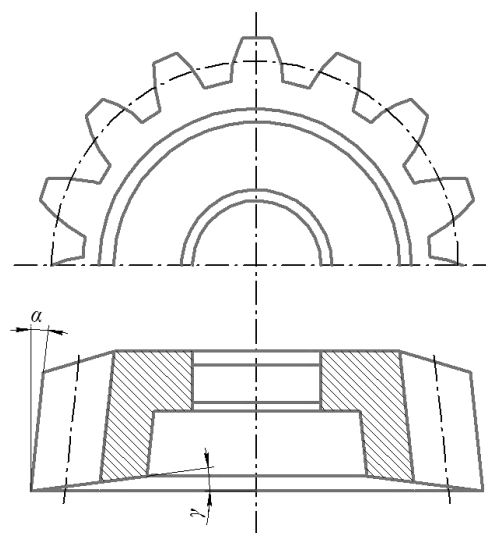


Рис. 4.43. Зуборізний довбач

Інструмент – круглий довбач (рис. 4.43). Це, як би, конічна шестерня з евольвентними зубами такого ж модуля, як і нарізуване колесо, але з різальними кромками на торці. Схема формоутворення зубів показана на рис. 4.44.

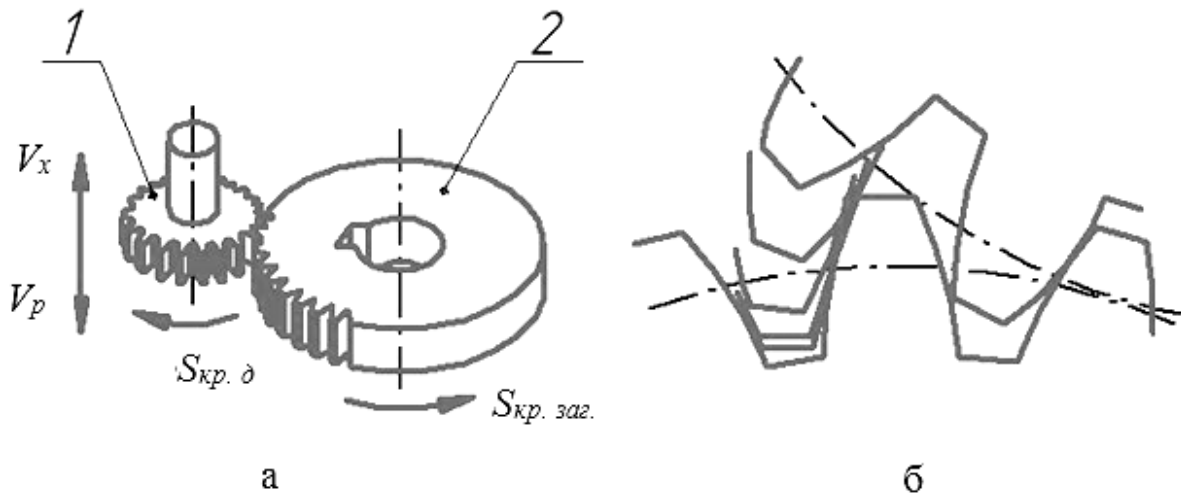


Рис. 4.44. Схема формоутворення зубів довбачем за методом обкатки

Довбач 1 (рис. 4.45) виконує вертикальний поступально-зворотний рух різання з робочою швидкістю V_p і холостий рух V_x . При холостому ході вгору довбач автоматично відводиться від нарізуваної заготовки на ΔS , щоб не пошкодились його зуби. Разом з круговою подачею довбача $S_{кр.д}$ і заготовки $S_{кр.заг.}$, включається радіальна подача довбача S_p на глибину прорізуваних западин.

Для правильного процесу обкатки, необхідно, щоб при повороті довбача на один зуб, заготовка теж повернулась на один зуб. Тобто співвідношення кутових швидкостей

$$i = z_d / z_k = n_k / n_d.$$

Косозубі колеса нарізають косозубим довбачем, котрому від спеціального копіра надається відповідне додаткове кругове обертання.

За один перехід оброблюють колеса з модулем 1-2 мм, за два переходи – з модулем 2,25–4 мм, за три – з більшим модулем.

Обробка на зубодовбальних верстатах дозволяє отримувати колеса високого 6–7-го ступеня точності з низькою шорсткістю поверхонь, яка досягає R_a 1,25 мкм і котрі часто без додаткової обробки направляють на складання.

Продуктивність зубодовбальних верстатів дещо нижча, ніж зубофрезерних. Є ряд ефективних способів підвищення продуктивності зубодовбання.

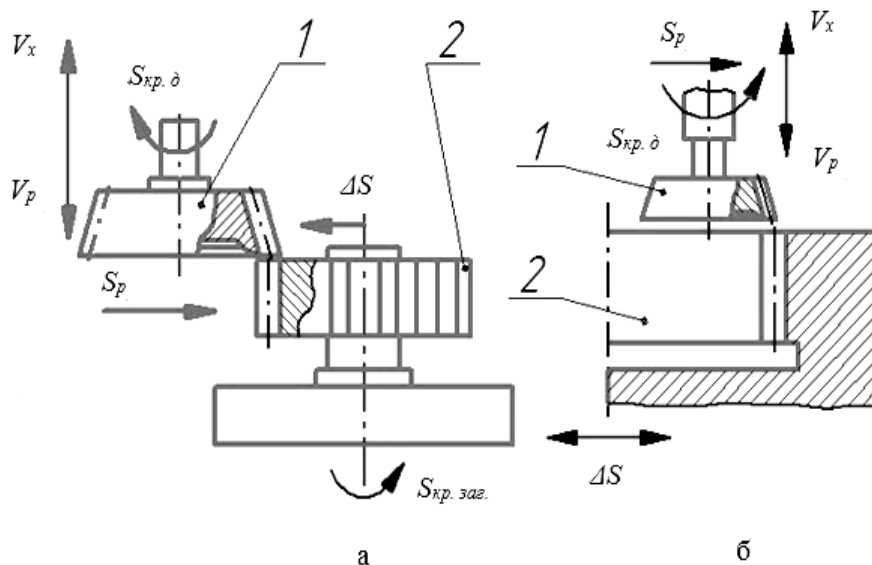


Рис. 4.45. Схеми нарізування зубів на зубодовбальному верстаті

4.4.6. Нарізування зубів конічних прямозубих зубчастих коліс

В сучасному машинобудуванні застосовують конічні колеса з прямими і криволінійними (круговими) зубами. Виготовлення конічних зубчастих коліс, які мають перемінний модуль по довжині зуба, непаралельні і криволінійні боки зуба, викликає великі труднощі. Розглянемо деякі способи виготовлення конічних зубчастих коліс

Чорнове фрезерування зубів прямозубих коліс. У МВ прямозубі конічні колеса фрезерують за методом копіювання в багатомісних поворотних пристроях (рис. 4.46). ГРР – незалежне обертання фрез 2, які також одержують вертикальний рух подачі S_6 . Після прорізування на колесах 1 однієї западини, усі заготовки повертаються на один зуб (ділительний рух) і процес відновлюється. Після нарізування 3-х коліс, пристрій повертається на 180° і нарізуються три інші колеса.

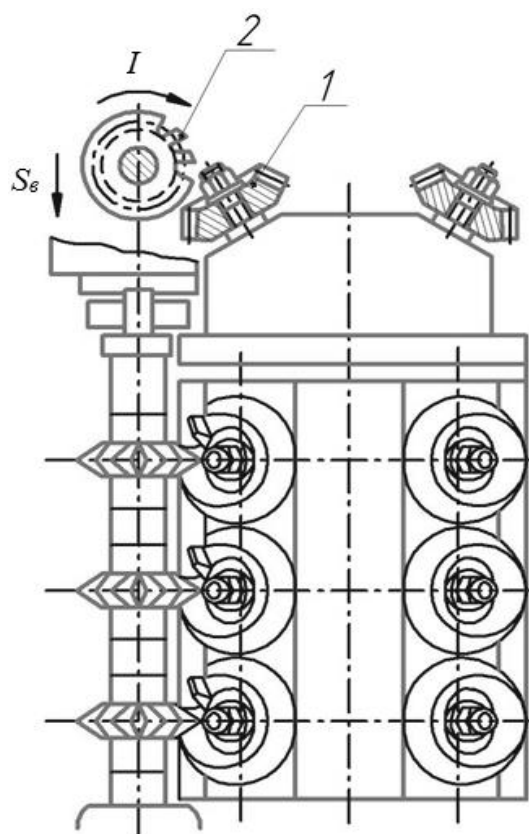


Рис. 4.46. Чорнове нарізування зубів конічних коліс набором фрез

У цей час, на неробочій позиції, знімають три нарізані колеса і установлюють три заготовки, тобто допоміжний час перекривається основним.

Більш точні зуби отримують при обробці за методом обкатки. Чистове (рідше чорнове) нарізування прямозубих коліс виконують двома парними різцями на зубостругальних верстатах, приведеними на рис. 4.47 (мод. 5A250 та ін.).

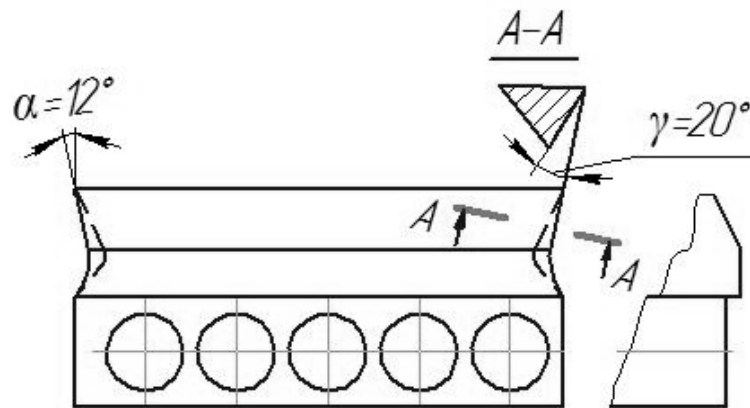


Рис. 4.47. Зубостругальний різець

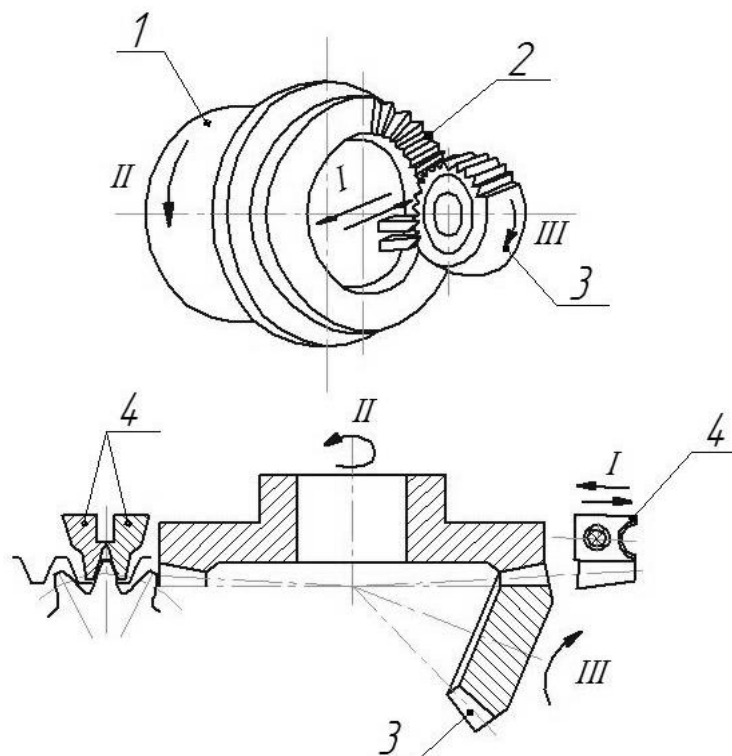


Рис. 4.48. Схема нарізування прямозубих зубчастих коліс на зубостругальному верстаті

На верстатах цих типів (рис. 4.48), у процесі нарізування зубів, як би відтворюється зачеплення нарізованого колеса 3 з уявним плоским відтворюючим колесом 2, у якого кут початкового конуса дорівнює 180° . При цьому різальні кромки інструмента 4 повинні в процесі ГРР ніби то утворювати бокові сторони прямобічного зуба відтворюючого колеса. Звичайно, замість уявного відтворюючого плоского колеса, на верстаті є люлька 1 з інструментами, яка може виконувати рух обкатки в парі з оброблюваною заготовкою. У результаті цього руху обкатки, прямолінійні різальні кромки інструмента нарізають на заготовці зуби евольвентного профілю.

4.4.7. Нарізування конічних коліс з криволінійними зубами за методом обкатки

Чорнове нарізування зубів конічних коліс з круговим зубом виконують фрезеруванням торцевими зуборізними головками за методом копіювання.

Чистову обробку (іноді чорнову) конічних коліс з криволінійними евольвентними зубами виконують за методом обкатки торцевими зуборізними головками з прямобічними різцями. При цьому відтворюється зачеплення заготовки 3 (рис. 4.49) з зубами уявного утворюючого колеса 2 і профіль зуба цього колеса окреслюється різцями зуборізної головки 4, установлені на люльці 1.

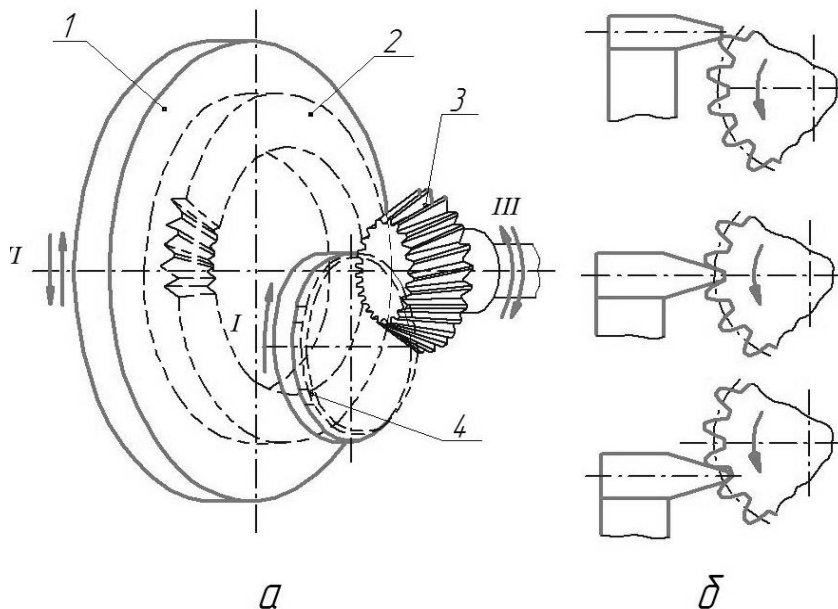


Рис. 4.49. Схема нарізування зубчастих коліс з криволінійними зубами торцевою зуборізною головкою

У процесі обробки ГРР виконує головка 4, яка незалежно обертається з певною швидкістю. Крім цього, заготовка 3 і люлька 1, з установленою на ній головкою 4, відтворюють узгоджені рухи обкатки, у процесі котрих прямобічні різці головки формують зуби евольвентного профілю. Після нарізування одного зуба, заготовка відводиться від головки і виконує ділильний поворот для обробки нової западини, а люлька з зуборізною головкою повертається назад у вихідне положення.

При чорновій обробці коліс одночасно фрезерують два боки западини між зубами. При чистовій обробці коліс і шестерень, угнуту сторону зуба оброблюють однією головкою, а випуклу – другою.

Чорнове нарізування криволінійних зубів можна також виконувати конічною черв'ячною фрезою.

4.4.8. Кріплення заготовок при нарізуванні зубів

При нарізуванні зубів коліс, заготовки базуються по внутрішньому діаметру і торцю. Вони можуть кріпитися на оправці, яка установлюється в центрах (переважно на зубофрезерних верстатах), або консольно (на зубодовбальних і зубостругальних, на верстатах для фрезерування криволінійних конічних коліс торцевими головками).

Звичайно, перед нарізуванням зубів отвір повинен бути точно оброблений і шестерня установлюється на жорстку оправку, рідше розтискну. Крутий момент передається тільки за рахунок сил тертя. Посадка на оправку виконується за рухомим з'єднанням, звичайно при точності отвору по Н7. Оправка на столі верстата найчастіше базується за фрезерним конусом 7/24. Заготовки типу вал-шестерня установлюють в центрах, або на базові шийки. Іноді заготовку колеса напресовують на центрову оправку з натягом і вона, не знімаючись з оправки, проходить повну механічну обробку аж до термічної обробки.

4.4.9. Завершальні види обробки циліндричних зубчастих коліс

Застосовуються для обробки коліс 5 – 7-го ступеня точності з шорсткістю поверхонь зубів не нижчою R_a 1,25 мкм. При фінішній обробці термічно не оброблених (сирих) зубчастих коліс застосовують шевінгування, обкатування, припрацювання. При остаточній обробці термічно оброблених зубчастих коліс застосовують шліфування, притирання та інші способи.

При шевінгуванні круглим шевером (рис. 4.50), колесо і інструмент обкатуються як циліндрична гвинтова пара з осями, які перехрещуються.

Шевер – кореговане косозубе загартоване колесо, на бокових поверхнях зубів якого нанесені радіальні канавки (рис. 4.50, б), які

утворюють безліч різальних кромки. Обробка виконується на спеціальних шевінгувальних верстатах. Шевер отримує примусовий обертовий рух $V_{ш}$ і від нього обертається оброблюване колесо. Обертання періодично реверсується. При ковзанні зубів шевера з багатьма різальними кромками по поверхні колеса, з нього зрізаються тонкі стружки товщиною 1-5 мкм. При цьому ковзання автоматично забезпечується внаслідок перехресних осей шевера і заготовки колеса. Стіл з заготовкою отримує поздовжній рух з поздовжньою подачею $S_{позд}$, а шевер отримує поперечну подачу, яка становить $S_n = 0,02-0,06$ мм/2-й хід столу.

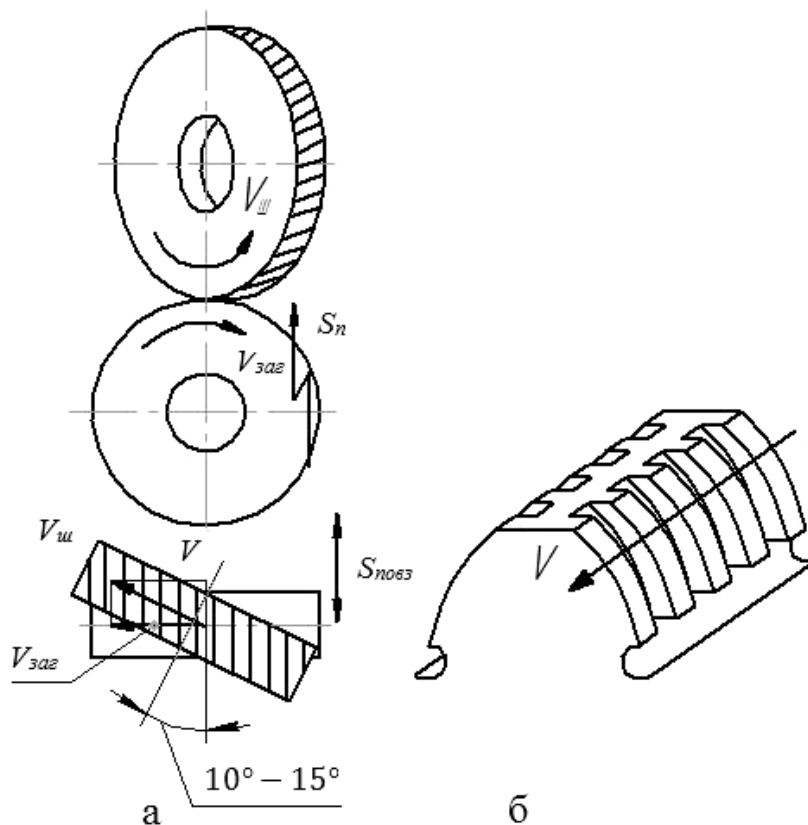


Рис. 4.50. Схема зубошевінгування

Шевінгування виправляє похибки обробки і дозволяє отримувати зубчасті колеса 6-8-го ступеня точності з шорсткістю отримуваних поверхонь R_a 1,25-0,32 мкм. Припуск під шевінгування на товщину зуба 0,03-0,10 мм у залежності від модуля. Швидкість шевінгування знаходиться в діапазоні 30-45 м/хв.

Обкатування – це процес поліпшення якості поверхонь зубів за допомогою тиснення загартованих шестерень-накатників на оброблюване колесо (рис. 4.51). Обробка виконується на спеціальних жорстких зубообкатних верстатах, або на горизонтально-фрезерних.

Оброблюване колесо 1 обертається від ведучого накатника 2 і передає обертання двом іншим накатникам 3.

При обкатуванні викривляється профіль зуба, а також виникають додаткові внутрішні напруги, тому його стараються замінити шевінгуванням. Одним комплектом накатників можна обкатати 25 тисяч коліс. Обкатування несуттєво виправляє похибки попередньої обробки.

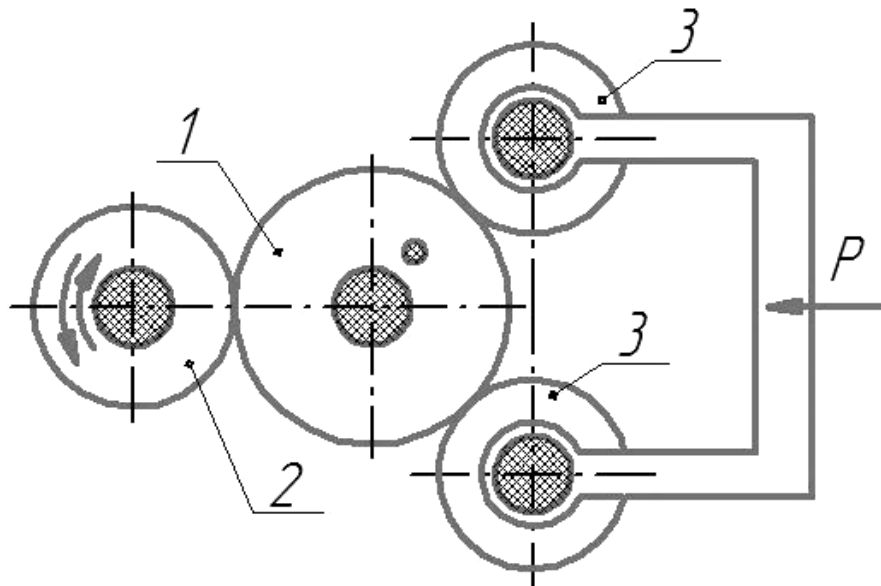


Рис. 4.51. Схема обкатування зубчастих коліс

4.4.10. Шліфування зубів зубчастих коліс

Шліфування зубів також може виконуватися за методом копіювання і за методом обкатки.

Шліфування зубів дисковим профільним кругом (рис. 4.52, а) за методом копіювання, з автоматичним алмазним правленням кругів за спеціальним шаблоном і ділильним поворотом колеса на один зуб, дозволяє отримувати колеса до 5–6 ступеня точності. При припуску на товщину зуба 0,3–0,4 мм, шліфування виконується за 3–4 переходи. Швидкість різання $V_k = 30\text{--}35$ м/с. При цьому швидкість поздовжньої подачі дорівнює $S_{позд} = 8\text{--}16$ м/хв.

Шліфування зубів за методом обкатки може виконуватися двома тарілчастими кругами прямолінійного профілю, одним конусним кругом, абразивним черв'яком.

При шліфуванні тарілчастими кругами (рис. 4.52, б), вони розміщені так, що їх шліфуючі частини утворюють зуб уявної прямобічної відтворюючої рейки того ж модуля, що і зуб оброблюваного колеса.

Рух обкатки складається з двох рухів, які виконуються одночасно: $S_{кр}$ – обертання колеса навколо своєї осі, і $S_{об}$ – переміщення колеса уздовж осі рейки. Круги обертаються зі швидкістю різання V_k . Крім того, шліфоване колесо має поздовжню подачу $S_{позд}$ уздовж його осі. Після обробки однієї западини, круги відводяться і колесо виконує ділильний поворот на один зуб.

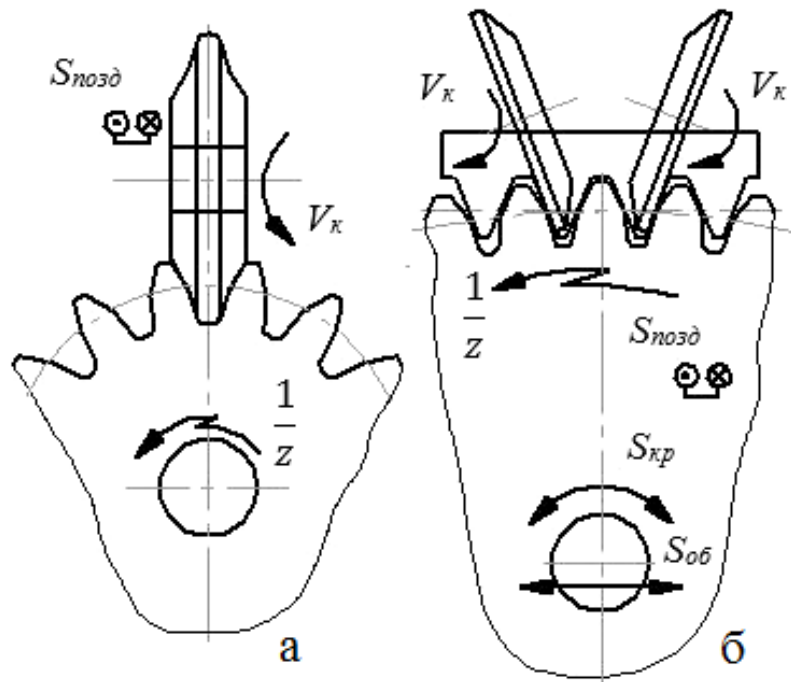


Рис. 4.52. Шліфування зубів дисковим (а) і двома тарілчастими (б) кругами

Знос шліфувальних кругів компенсується автоматично і вони правляться через кожні 0,001 мм. Цей спосіб шліфування один з найточніших і дозволяє отримувати колеса 6–3 ступеня точності з шорсткістю поверхонь R_a 0,16 мкм.

Притирка виконується на притиральних верстатах у середовищі абразиву і мастила (рис. 4.53).

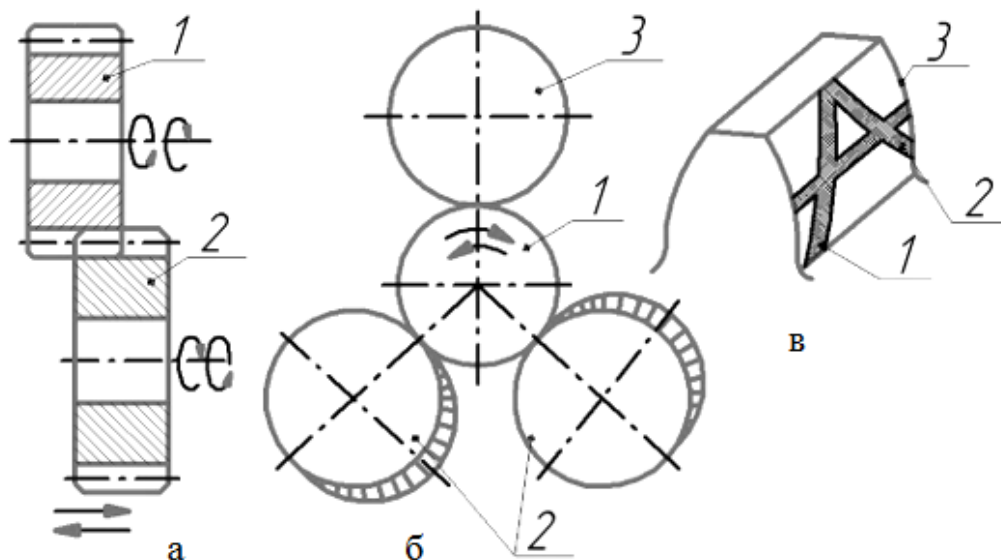


Рис. 4.53. Схеми притирання на верстатах з паралельними (а) і осями, які перетворюються (б)

Ведучим є оброблюване колесо 1, яке знаходиться в зачепленні з одним прямозубим 3 і двома косозубими 2 притирами, які виготовленні з сірого чавуну з твердістю HB 180–220. Притири виготовляють за 6-им ступенем точності. При обертанні притири контактують з колесом по відповідних лініях (в). При обертанні колеса 1, по чергово в один або інший бік, з частотою обертання $150\text{--}300 \text{ хв}^{-1}$, оброблюване колесо отримує поступально-зворотне переміщення $S_{\text{позд}}$ уздовж своєї осі. При цьому з притирами послідовно контактує уся поверхня зуба. Точність притертих коліс відповідає 6-5 ступеню, а шорсткість поверхонь – $R_a 0,32\text{--}0,08 \text{ мкм}$. Величина шару металу, який знімається, – $0,02\text{--}0,05 \text{ мм}$ і спеціальний припуск на притирання не передбачається. Після притирання колесо необхідно старанно промити від абразиву.

Припрацювання – це сумісне припрацювання двох коліс зубчастої пари в абразивному середовищі. При припрацюванні тратиться взаємозамінність.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які застосовують методи нарізування зубів зубчастих коліс?
2. Як здійснюють нарізування зубів циліндричних коліс дисковими і пальцевими модульними фрезами?
3. Як нарізають зуби коліс черв'ячними фрезами методом обкатки?
4. Як нарізають зуби коліс на зубодовбальних верстатах?
5. Як нарізають зуби конічних прямозубих зубчастих коліс?
6. Як нарізають зуби конічних коліс з криволінійними зубами за методом обкатки?
7. Як здійснюють кріплення заготовок при нарізуванні зубів?
8. Назвіть заключні види обробки циліндричних зубчастих коліс?
9. За якими методами виконується шліфування зубів зубчастих коліс?

4.5. Виготовлення деталей на верстатах з ЧПК

4.5.1. Переваги і недоліки верстатів з ЧПК

Верстати з програмованим керуванням (ПК) – це напівавтомати і автомати, у котрих усі рухомі органи виконують робочі і допоміжні рухи автоматично за наперед складеною програмою. На відміну від верстатів з жорсткими кінематичними зв'язками, для верстатів з ЧПК не потрібно виготовлювати дорогі кулачки, копії, барабани, упори, що спрощує і здешевлює налагодження і дозволяє застосовувати їх для автоматизації МСВ та ССВ. Разом з тим, гнучкість систем ЧПК і легкість включення їх у

систему управління від єдиної ЕОМ дозволяє застосовувати верстати з ЧПК навіть у ВСВ і МВ.

Основні переваги верстатів з ЧПК: просте і швидке переналагодження при переході від виготовлення однієї деталі до іншої, що полягає в заміні програми, пристрою і інструментів; підвищення продуктивності праці завдяки скороченню T_o і T_d , тому що весь цикл обробки автоматизований; підвищення точності обробки; зменшення обсягу дорогих розмічувальних робіт; зниження браку з причин втомленості верстатника; низька кваліфікація робітників; можливість багатOVERSTATного обслуговування – до 2–3-х верстатів одночасно; зниження затрат на пристрої, тому що їх потрібно менше внаслідок концентрації операцій і застосування УЗП; зниження затрат на контрольно-вимірювальні пристрої і інструменти; зменшення площ ділень цеху; поліпшення умов праці робітників.

Недоліки верстатів з ЧПК: висока вартість, у 1,5–10 і більше разів вища, ніж вартість звичайних верстатів; недостатня надійність старих моделей верстатів з ЧПК, в яких програма задавалась на перфострічках, у порівнянні з верстатами з жорстким зв'язком; висока кваліфікація наладчиків і ремонтників; необхідність спеціальної підготовки технологів; ці верстати окупають себе при завантаженні в 2–2,5 зміни на добу.

Висока вартість верстатів обумовлена як великою насиченістю електронними схемами керування і контролю, так і конструктивними особливостями механічної частини.

Верстати з ЧПК підвищують продуктивність виконання фрезерних робіт у 1,8–2,5 рази, токарних – 1,2–2,5 і розточувальних у 1,3–2,7 рази і більше.

До основних відмін верстатів з ЧПК від універсальних, крім повного автоматизованого керування, необхідно віднести наступні:

- підвищена точність і жорсткість верстатів;
- відсутність як кінематичних, так і силових люфтів у приводах подач, що досягається застосуванням попередньо напружених кулькових гвинтових пар з тертям кочення і скороченням довжини кінематичного ланцюга (без коробок подач і швидкостей, внаслідок застосування в якості приводу високомоментних двигунів);
- верстати з ЧПК мають швидкодіючий привід, тому що час його реверсування впливає на точність обробки;
- у цих верстатів виключається сухе тертя у направляючих шляхом застосування гідростатичного тертя, направляючих кочення, спеціальних МОР;
- застосовується безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя і подач від високомоментних двигунів постійного струму;

- застосовується високий рівень механізації при заміні і закріпленні інструмента та заготовки, швидкі холості ходи робочих органів тощо;
- як датчики зворотнього зв'язку застосовують трансформатори, що обертаються, редусини і індуктосини та ін.;
- на верстатах з ЧПК передбачена цифрова індикація положення усіх вузлів, котрі керуються за програмою; номерів кадрів програми і номерів інструментів; вибору початку відліку тощо;
- усі рухомі вузли закріплюються гідромеханічними затискачами оригінальних конструкцій і мають високоточні загартовані бокові направляючі кочення.

4.5.2. Системи координат верстатів з ЧПК

Стандарт ISO 841:1974 [5] рекомендує єдину систему позначення координат для верстатів з ЧПК. Координатами позначають положення осі обертання шпинделя верстата або заготовки, а також напрями прямолінійного або обертового руху інструмента та заготовки. При цьому позначення осей координат і напрям руху робочих органів верстата установлюють так, щоб складання програм обробки заготовки не залежало від того, переміщується заготовка чи інструмент. При розробці позначення системи координат за основу прийнято, що переміщується інструмент відносно нерухомої заготовки.

Система координат ISO (рис. 4.54) представляє собою прямокутну систему, зв'язану з заготовкою, осі якої паралельні до прямолінійних направляючих верстата.

У її основу закладена права система координат з осями X , Y , Z , які показують додатні напрями руху інструментів відносно нерухомої заготовки. Якщо інструмент нерухомий, а рухається заготовка відносно інструмента, то відповідні її додатні переміщення, що направлені в протилежні боки, позначаються X' , Y' , Z' .

За додатні напрями переміщення рухомих органів приймають такі, при яких інструмент і заготовка віддаляються один від іншої.

При розміщенні системи координат у просторі керуються такими правилами:

- вісь Z завжди співпадає з віссю обертання інструмента або заготовки;
- вісь X завжди горизонтальна і паралельна до можливого переміщення робочого органу (РО) верстата (наприклад, для токарних верстатів вісь X направлена паралельно до подачі поперечного супорта);
- якщо уздовж однієї і тієї ж осі переміщується декілька робочих органів верстата, то використовують вторинні (U , V , W) і третинні (P , Q , R) осі;

- для позначення напрямів руху декількох аналогічних робочих органів верстата (наприклад револьверних головок) застосовують, відповідно, $X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2$ і т.д.;
- кругове переміщення інструмента відносно заготовки вважається додатнім при направленні проти годинникової стрілки, якщо дивитися на вістря відповідної осі координат (вони позначаються латинськими літерами A, B, C);
- при кругових рухах заготовки додатні напрямлення змінюються на зворотні, а кутові координати позначаються A', B', C' .

Для визначення напрямів рухів робочих органів верстатів доцільно користуватись «правилом правої руки» (рис. 4.54).

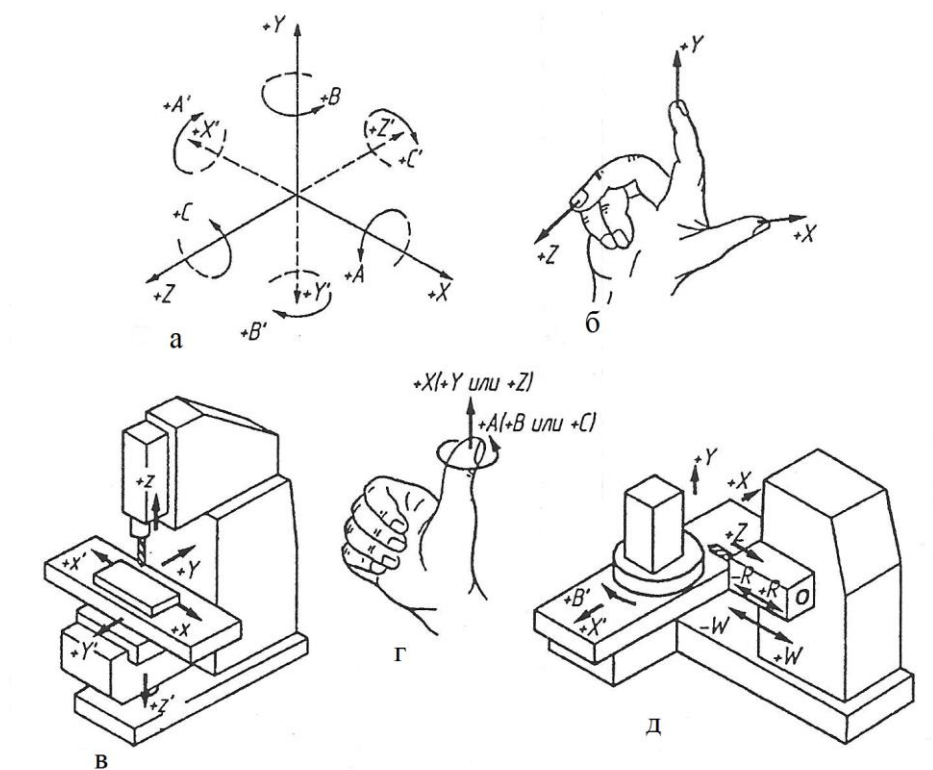


Рис. 4.54. Системи координат верстатів з ЧПК

Для програмування обробки, крім напрямлення осей координат, необхідно визначити спосіб і початок відліку переміщень по кожній осі. Два різні способи відліку використовують у системах ЧПК: абсолютний і відносний (в приростаннях).

При абсолютному способі відліку положення початку координат фіксоване для всієї програми обробки. Цей початок називають “верстатним нулем” і для кожного рухомого органу його указують в паспорті верстата.

При роботі від верстатних нулів на програмоносії записують абсолютні значення координат послідовно розміщених опорних точок. У цьому випадку верстат кожен раз відпрацьовує задані координати (відстані) від однієї і тієї ж точки (верстатного нуля), тому відсутнє накопичення похибок відпрацювання переміщень і підвищується точність позиціювання робочого органу.

Іноді, особливо на верстатах з позиційними системами ЧПК, передбачена можливість переносу початку координат у будь-яку точку на шляху переміщення РО верстата – „плаваючий нуль”. Таке керування застосовується, головним чином, на розточувальних і свердильних верстатах, а також оброблюючих центрах (ОЦ) з ЧПК.

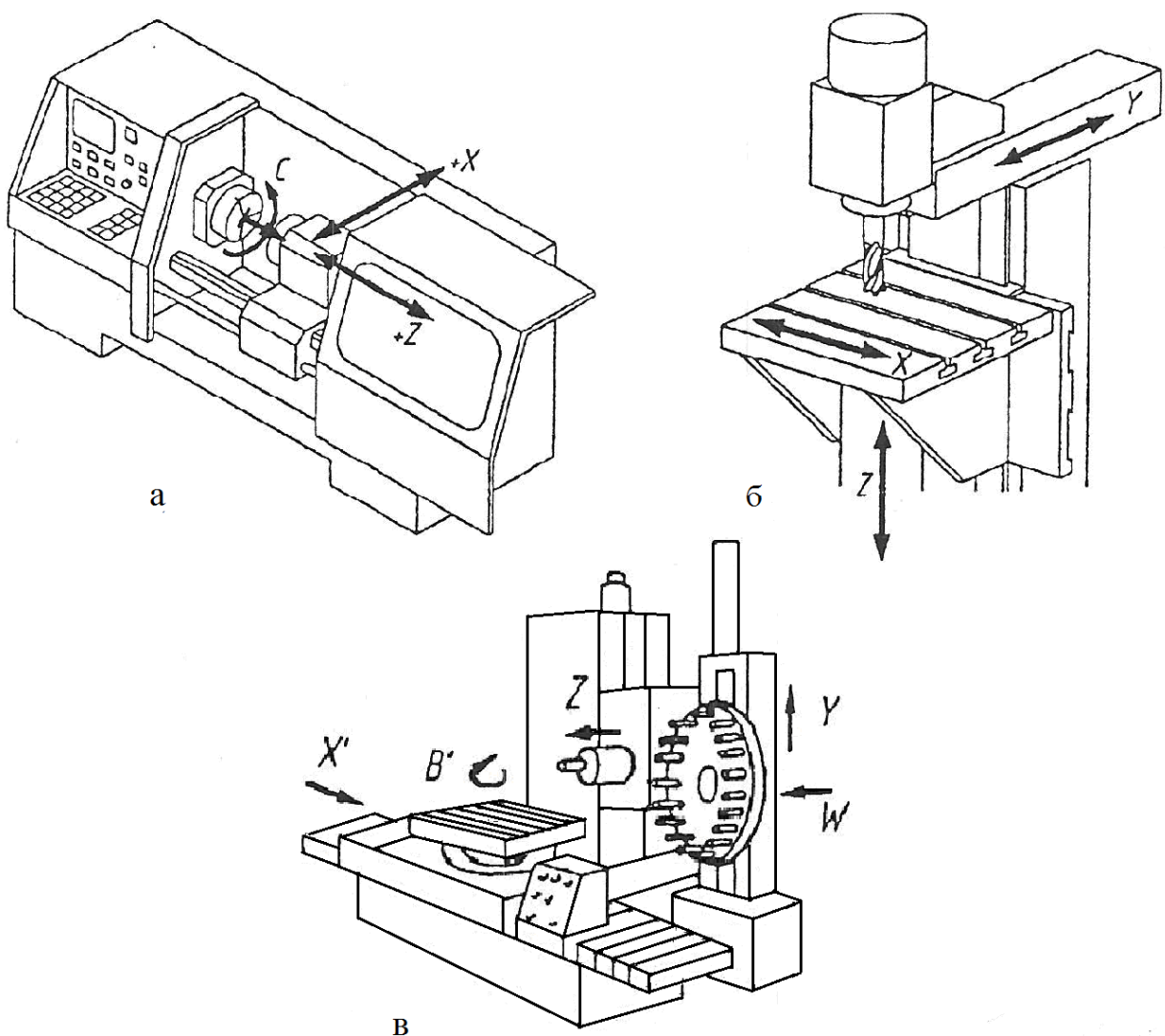


Рис. 4.55. Направлення рухів на верстатах з ЧПК:
а – токарних; б – вертикально-фрезерних; в – багатоцільових

4.5.3. Блок-схема програмованого керування верстатом

Типова блок-схема ЧПК верстатом (рис. 4.56) включає наступні блоки.

ВП – *ввід програми*. Блок призначений для зчитування з програмоносія закоданих керуючих сигналів у вигляді електричних, магнітних, світлових або інших фізичних дій. Він може включати пристрій для транспортування програмоносія і пристрій для зчитування, котрі, в залежності від прийнятого методу запису програми, розрізняються за способом зчитування: контактної і безконтактної дії, послідовні і паралельні.

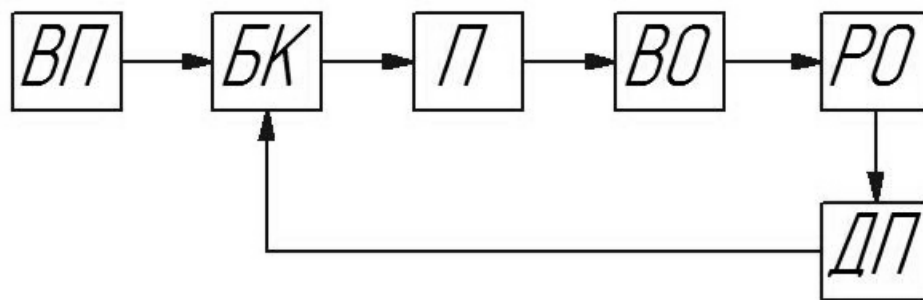


Рис. 4.56. Блок-схема програмованого керування верстатом

Раніше як програмоносії використовували перфокарти, магнітні стрічки і перфострічки. Тепер, в основному, застосовують вмонтовані ЕОМ (мікропроцесори) з дисплеєм, клавішним набором програми на або поза верстатом і переносом її на магнітний диск, як зберігач інформації.

БК – *блок керування*. Він перетворює отримані від *ВП* фізичні дії в електричні командні імпульси або потенціали. Він також розшифровує введену інформацію, порівнює завдання з інформацією від датчиків переміщення та ін. *БК* є загальним, об'єднуючим поняттям різних пристроїв ЧПК, і включає: дешифратор, інтерполятор, лічильник та ін. Ці пристрої сконструйовані на базі електронних приладів і призначені для переробки керуючої інформації і виконання окремих функцій автоматичного керування.

П – *підсилювач*. Він підсилює отримувані електричні сигнали до рівня, що забезпечує надійну роботу верстата.

ВО – *виконуючий орган*. Він відпрацьовує командні імпульси, отримані від *БК* через підсилювач, шляхом його підключення до *РО*. *ВО* узагальнює крокові двигуни, високомоментні двигуни, сервомеханізми, золотники, контактори, електромагніти, муфти тощо.

РО – робочий орган. Це цільовий орган верстата, який керується ВО і фактично реалізує командні дії: стіл, супорт, шпиндель, револьверна головка тощо.

ДП – датчик переміщення. Він присутній тільки в замкнених системах ЧПК. Його призначення – виконувати зворотній зв'язок, тобто реєструвати фактичне переміщення РО верстата. ДП узагальнює різні елементи шляхового контролю: датчики переміщення або повороту і прилади, які виробляють відповідні сигнали зворотнього зв'язку.

4.5.4. Послідовність підготовки програми

Найбільш важливий і відповідальний етап при підготовці до роботи верстатів з ЧПК – складання програми виготовлення конкретної деталі з занесенням на програмоносії розмірної, технологічної і допоміжної інформації відповідно до закладеної у верстаті системи ЧПК.

Спочатку технолог визначає переходи обробки заготовки на верстаті, вихідне положення РІ і наступне його відносне переміщення, осі координат, режими обробки, послідовність виконання різних технологічних дій тощо. Отримані дані заносять у стандартний розрахунковий бланк технологічної карти. Установлюють положення точки “О” розрахункових координат, від котрих починає рух різальна кромка (вісь, центр). Після траєкторія відносного руху РІ або стола розбивається на окремі відрізки (рис. 4.57) з нанесенням опорних точок.

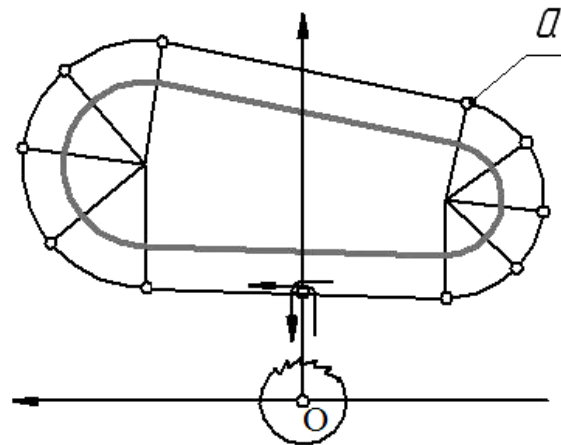


Рис. 4.57. Схема переходів на верстатах з ЧПК

На прямолінійних відрізках опорні точки ставляться тільки на кінцях ліній, якщо вони навіть не паралельні до направляючих. На криволінійних, у залежності від точності обробки і способу апроксимації, точки ставляться близько. Інформація про переміщення РО між опорними точками визначається автоматично за допомогою електронно-обчислювального пристрою-інтерполятора. Інтерполятори можуть бути вмонтовані в систему ЧПК верстата, або представляти окремий агрегат. За складністю пристрою і точністю апроксимації кривих розрізняють лінійні, лінійно-кругові, і лінійно-параболічні інтерполятори.

Після цього положення кожної опорної точки відносно розрахункового початку координат установлюється програмістом і отримані дані заносяться в технологічну карту. Графи технологічної карти і послідовність їх заповнення повинні відповідати установленому порядкові кодування програми.

Після цього оператор переносить дані технологічної карти на дисплей або магнітні носії. При цьому програма автоматично кодується. При записуванні на дисплеї, програму можна перевіряти візуально або автоматично і, при необхідності, виправляти її.

У загальному випадку процес підготовки програми включає такі етапи:

- розробка операційного креслення і креслення заготовки;
- технологічне пропрацювання операції;
- розробка схеми установки або схеми налагодження верстата;
- побудова циклограми, тобто траєкторії руху інструмента;
- розрахунок прирошувань координат опорних точок;
- буквенно-цифровий запис програми;
- кодування програми в двійково-десятковому коді, тобто набір на дисплеї (виконується автоматично);
- перевірка правильності набору програми.

Розробку програми суттєво полегшує система автоматизованого проектування (САП), яка складається з двох універсальних блоків – процесора і постпроцесора.

Процесор – система виконує геометричні і технологічні розрахунки без урахування специфіки конкретного верстата. Він видає геометричну інформацію, яка визначає траєкторію інструмента, технологічні команди і допоміжні дані.

Постпроцесор – виконує розрахунки, що зв'язані з урахуванням конкретного верстата. Таким чином, для всіх верстатів даної технологічної групи досить мати один процесор і стільки постпроцесорів, скільки комбінацій систем управління.

Сучасні верстати з ЧПК дозволяють суттєво спростити розробку програм.

4.5.5. Код ISO для програмування на верстатах з ЧПК

Для того, щоб верстат з ЧПК міг відпрацьовувати програму, її необхідно представити в закодованому вигляді, зрозумілому для системи ЧПК. На верстатах з ЧПК програма може записуватися в унітарному або двійково-десятковому коді.

В унітарному коді число виражається одним символом – 1. Тому, щоб записати число 7, необхідно проставити підряд 7 одиниць. Він застосовувався для записування на магнітній стрічці у вигляді імпульсів певної ціни.

При двійковій системі числення застосовують два символи – 0 і 1, котрі в електричних і електронних системах легко реалізуються: включено – виключено, знеструмлено – є струм, плюс – мінус, розмагнічено – намагнічено, а на перфострічці – відсутністю або наявністю отвору. При двійковій системі розміри запису великі і в чистому виді їх не застосовують.

У двійково-десятковому коді використовуються тільки чотири розряди двійкового числення, котрими виражаються десяткові числа в кожному окремому рядку. Кожна цифра (символ) записується в поперечному рядку, займаючи чотири доріжки.

Ще на початку застосування верстатів з ЧПК, коли основним програмоносієм були перфострічки або перфокарти, міжнародною організацією з стандартизації ISO був розроблений і рекомендований до застосування в обчислювальних машинах і пристроях для обробки інформації код ISO-7 bit. Він є семизначним кодом і дозволяє представляти 128 символів (рис. 4.58).

Доріжкам 1д, 2д, 3д, і 4д приписаний двійковий код 1–2–4–8, що забезпечує отримання 16 кодових позначень (0–15). Код розрахований на 8-ми доріжкову перфострічку шириною 25,4 мм. Для кодування інформації використовують 7 доріжок. Восьма призначена для контролю зчитування інформації і доповнює кількість пробивок у рядку до парного числа.

Кожен символ коду (адреса, цифра, знак або ознака) розміщується у вигляді комбінації пробивок (перфорації) в одному рядку стрічки.

Незважаючи на те, що тепер застарілі верстати з перфострічками не застосовуються, код ISO-7 bit застосовується як база для розробки нових систем ЧПК з магнітними носіями.

Програма для верстатів з ЧПК включає три види інформації: про переміщення, технологічну і логічну. Кожному виду інформації відповідає певна група символів коду.

Переміщення завжди визначають числами, тому символи переміщень мають числову форму. У залежності від програмованих довжин переміщень і від ступеня точності відліку, установлюється кількість десяткових розрядів, тобто кількість рядків на перфострічці, для записування числової інформації про переміщення по кожній координаті.

Технологічна і логічна інформація в керуючій програмі (КП) складається з таких команд: швидкість подачі (F), частота обертання шпинделя (S), номер інструмента (T) і номер закріпленого за ним

Для управління системою ЧПК необхідно, щоб сигнали поступали в систему в певній послідовності. З цією метою інформація що вводиться, формується в кадри, котрі представляють собою закінчені за змістом фрази на мові кодування. У одній фразі не можуть повторюватися одні і ті ж слова. Під словом необхідно розуміти кодові позначення будь-якої функції управління, наприклад: переміщення по осі X , номер кадру, швидкість подачі і т. п.

[illegible]

A – поворот навколо осі X ; B – поворот навколо осі Y ; C – навколо осі Z ;

F – швидкість подачі; N – номер фрази (кадру); S – швидкість головного руху (частота обертання); T – номер (код) інструмента; X – переміщення уздовж осі X ; Y – уздовж осі Y ; Z – уздовж осі Z та інші.

Службові символи “+” і “-” – напрямлення переміщення; LF – кінець фрази (кадру); % – початок програми; Del – забивка (інформація не читається); G – підготовча функція і т. д.

4.5.6. Верстати з ЧПК. Загальні відомості

Сучасні верстати з ЧПК суттєво відрізняються від звичайних універсальних металорізальних верстатів (МРВ). Для підвищення ефективності металообробки та продуктивності праці, в станкобудуванні намітилися такі тенденції:

- зниження капіталовкладень за рахунок зменшення вартості верстатів, спрощення їх конструкції та кінематики, агрегатування верстатів;
- підвищення продуктивності праці шляхом скорочення основного (T_o) та допоміжного (T_d) часу обробки, застосування нових інструментальних матеріалів, підвищення потужності електродвигунів, частоти обертання шпинделів і подач, зменшення часу заміни інструментів і деталей;
- технологічна гнучкість, що дозволяє виконувати максимальну кількість переходів на одному верстаті, або навіть повністю виготовити деталь;
- максимальна автоматизація, що дозволяє мінімізувати число обслуговуючого персоналу завдяки автоматизації допоміжних функцій, завантаження заготовок і знімання деталей, автоматизувати контроль та діагностику;
- підвищення точності обробки шляхом підвищення точності і жорсткості верстатів, зменшення теплових деформацій і вібрацій, підвищення точності заготовок, застосування активного контролю;
- екологічність та охорона середовища, його мінімальне забруднення, виключення або мінімізація застосування мастильно-охолодних технологічних засобів (МОТЗ).

Сучасний верстат з ЧПК включає:

- безпосередньо верстат з пристроєм, який забезпечує використання верстата для конкретного виробництва;
- систему керування з відповідним комп’ютерним обладнанням;
- контрольно-вимірювальні пристрої, системи нагляду та діагностики;
- комп’ютерні системи і пакети прикладних програм;
- різальні інструменти та інструментальну оснастку.

Для забезпечення високих вимог, станини верстатів з ЧПК виготовляють литими з спеціальних чавунів (наприклад, з високоміцного чавуну Meehanite), які мають у ~ 10 разів більшу демпфірувальну здатність, ніж сталі, мають малий коефіцієнт теплового розширення, надають верстатам високу динамічну точність та здатність поглинати вібрації при високошвидкісній обробці. Спеціально розрахована схема розміщення ребер дозволяє досягнути високої жорсткості і забезпечити максимальний опір дії згинальних сил.

Висока точність, швидкодія і низька інертність робочих органів верстатів забезпечується застосуванням для їх переміщення безазорних кульково-гвинтових пар (КГП) з безпосереднім приводом від високомоментних крокових двигунів постійного струму та кулькових і роликів прямих напрямляючих для переміщення супортів, столів, шпиндельних бабок, револьверних головок тощо. Для зменшення зносу напрямляючих і підвищення їх експлуатаційних характеристик, застосовують фторопластові накладки і прецизійні роликові опори кочення, що забезпечує високу динамічну жорсткість та демпфірувальні властивості при високих швидкостях переміщення вузлів (до 40 м/хв і більше). Поріг чутливості при переміщенні робочих органів (РО) верстатів з КГП складає 3 мкм і нижче, а точність позиціонування високопрецизійних верстатів сягає $\pm 0,001$ мм.

Останнім часом зростає тенденція до застосування лінійних двигунів (ЛД) для переміщення РО верстатів. При цьому значно зменшується довжина кінематичних ланцюгів з великою кількістю проміжних ланок. На відміну від приводів з КГП, у лінійних приводів відсутнє багатоступеневе перетворення енергії в рух – причина виникнення люфтів і нерівномірних подач. Лінійні приводи коректують точність положення РО до 500 разів за секунду з дискретністю подач 0,1 мкм. Але вартість лінійних приводів поки-що значно перевищує вартість приводів з КГП, що обмежує їх застосування.

Одним з основних недоліків верстатів з ЧПК є їх висока вартість у порівнянні зі звичайними універсальними верстатами. Для зменшення вартості верстатів з ЧПК і підвищення їх якості широко застосовують агрегування. Незважаючи на велику кількість різних верстатів з ЧПК, їх можна умовно розділити на типові окремі блоки та вузли: електронні системи керування верстатами з ЧПК; асинхронні серводвигуни; кульково-гвинтові пари; кулькові та роликові пари для напрямляючих; блоки шпинделів; вузли для закріплення заготовок; агрегати для зберігання та заміни інструментів; револьверні головки; столи та палети для установа та заміни заготовок; гідравлічні та пневматичні системи;

системи подачі МОР; системи видалення стружки; пристрої діагностики роботи верстата та контролю продукції тощо.

Як правило, верстати з ЧПК оснащують великою кількістю покупних механізмів і систем найбільш відомих та досвідчених фірм. Наприклад, щодо розробки різних електронних систем керування і контролю, такими фірмами є Fanuc (Японія), Siemens (Німеччина), Espkit (США) та ін.

Застосування верстатів з ЧПК дозволило суттєво розширити їх технологічні можливості у порівнянні зі звичайними верстатами. Наприклад, на токарних верстатах з ЧПК можна виконувати як звичайну обробку, так і обробку свердлінням, фрезеруванням, зубонарізуванням тощо. Суттєво зблизились можливості свердлильних, фрезерних і розточувальних верстатів – такі види обробки можна виконувати на фрезерних верстатах з ЧПК або оброблюючих центрах.

4.5.7. Токарні верстати з ЧПК

Вони складають найбільшу групу в парку верстатів з ЧПК і призначені для зовнішньої і внутрішньої обробки складних деталей типу тіл обертання.

Крім того, на сучасних верстатах за допомогою приводних інструментів (фрез, свердл, мітчиків тощо з віссю паралельною або перпендикулярною до осі обертання заготовки), установлених на багатопозиційних револьверних головках, можна виконувати фрезерування, свердління, нарізування різьби мітчиками, нарізування зубів тощо з різних боків заготовки. При цьому заготовка закріплена в патроні, який за програмою може періодично або безперервно повертатися на заданий кут.

За видом виконуваних робіт їх розділяють на пруткові, центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні.

Центрові – для обробки заготовок типу валів з складними прямо- і криволінійними поверхнями.

Патронні верстати призначені для обточування, свердління, зенкерування, розгортання, цекування, нарізування різьби мітчиками і різцями, фрезерування різними фрезами, нарізування зубів в деталях типу фланців, зубчастих коліс, кришок, шківів, корпусів, втулок тощо. До верстатів цього типу відносяться токарні патронні напівавтомати моделей 1П756 ДФЗ, КТ141, 1А734ФЗ та ін. з горизонтальним і вертикальним розміщенням шпинделів.

На патронно-центрових верстатах виконується зовнішня і внутрішня обробка складних заготовок. Вони мають властивості

центрових і патронних верстатів: 16K20Ф3, 16Б16Ф3, 16K20Т1, 16Б16Т1, 16К30Ф3 та ін.

Карусельні верстати – для обробки середніх та крупних заготовок, діаметр яких перевищує їх довжину: 1512Ф3, 1А512МФ3 (з одним стояком) і 1А525МФ3, 1А532ЛМФ3 (з двома стояками).

Направляючі супортів токарних верстатів можуть бути горизонтальними, вертикальними або нахиленими.

Найчастіше застосовують верстати з однією або двома револьверними головками з віссю повороту паралельною, іноді перпендикулярною, до осі Z. Загальна кількість різних інструментів – від 6 до 12 в кожній револьверній головці. Передбачена можливість зупинення шпинделя в певному кутовому положенні (для обробки заготовок з різних боків приводним інструментом, заміни заготовки роботом і т. п.). Усі сучасні верстати з ЧПК мають безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя n і швидкості подачі S робочого органу.

У токарних верстатів з ЧПК разом з формоутворенням може бути автоматизовано: перемикання n шпинделя, зміна швидкостей робочих подач і холостих переміщень, заміна інструмента, вмикання і вимикання МОР, регулювання розходу МОР, вмикання і вимикання механізму стружкодроблення і стружковидалення, контроль за станом РІ (поломка або затуплення), контроль точності обробленої поверхні безпосередньо на верстаті, завантаження і вивантаження деталей за допомогою маніпулятора або робота.

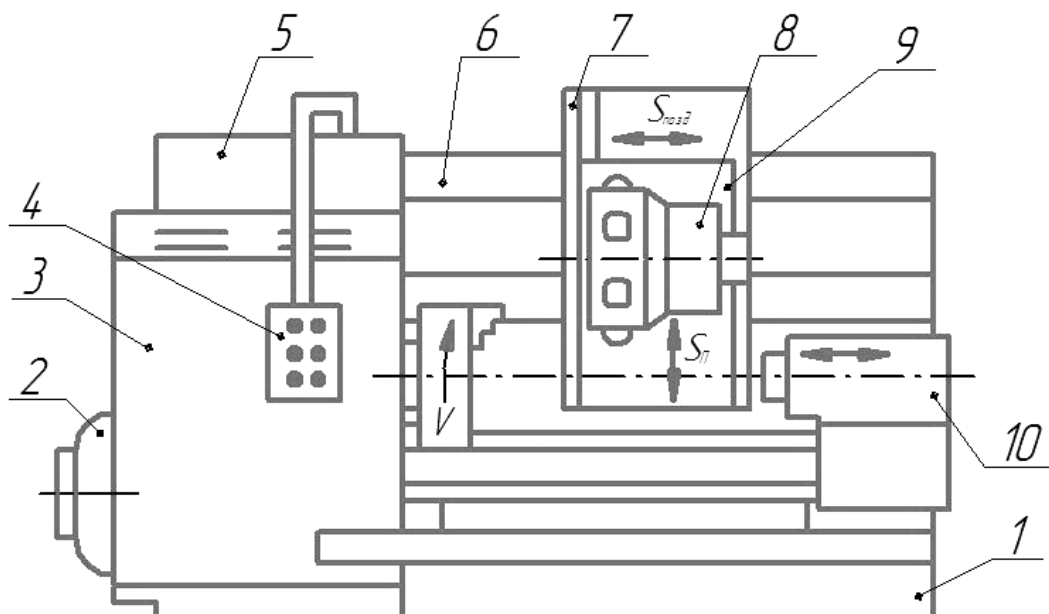


Рис. 4.59. Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата з ЧПК

На рис. 4.59 показаний загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата з ЧПК. Верстат має нахилену станину 1, електродвигун 2, шпиндельну бабку 3, пульт керування 4, шафу 5 з вмонтованою електророзподільною апаратурою, направляючі 6, револьверний супорт 7, багатопозиційну револьверну головку 8, яка має поперечну подачу по полозках 9, задню бабку 10.

На рис. 4.60 наведена принципова схема токарного верстата з ЧПК, який дозволяє оброблювати заготовку з постійним значенням сили різання. Оброблювана заготовка 1 виконує обертовий робочий рух від електродвигуна 2, що реєструється датчиком 3. Сигнал, який виник у процесі обробки, через підсилювач 4 подається у порівняльний пристрій 5, де порівнюється з сигналом, який задається пристроєм 6.

Різниця порівнювальних сигналів через підсилювач 7 подається в блок-схему програмованого керування 8. Після цього сигнал сумується з сигналом програми і поступає через кроковий комутатор 9 в кроковий двигун 10, гідропідсилювач 11, редуктор 12 і через ходовий гвинт 13, відповідно, при необхідності, змінює робочу подачу супорта 14. Застосування високомоментних двигунів дозволяє значно спростити схему роботи описаного верстата.

В сучасних горизонтальних токарних верстатах з ЧПК застосовують різні компоновки [5].

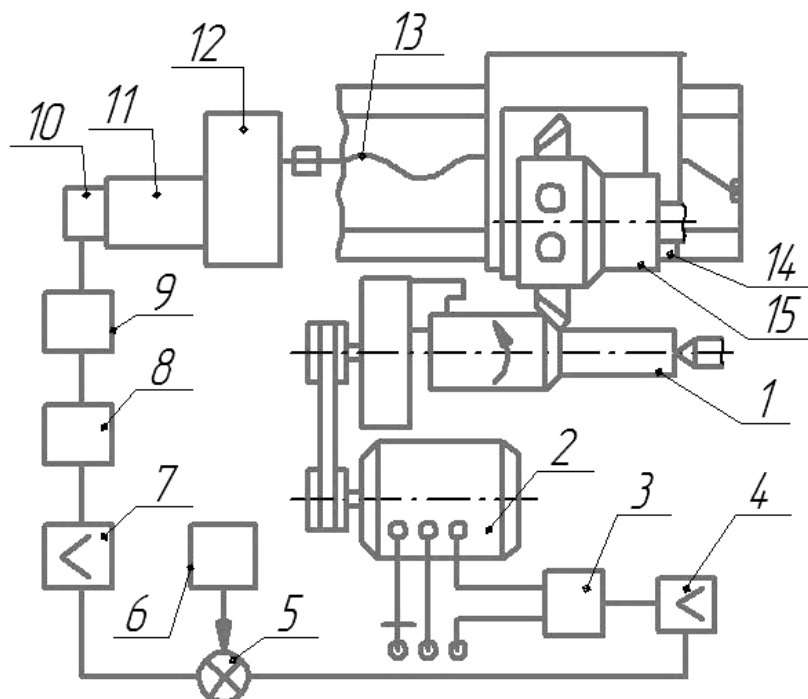


Рис. 4.60. Схема токарного верстата з програмованим керуванням за силою різання

За способом закріплення заготовки ці верстати розділяються на верстати з закріпленням у патроні та можливістю обробки з одного торця і керованим поворотом шпинделя відносно осі C . Супорт з револьверною головкою має переміщення уздовж осей X і Z (рис. 4.61, а). У револьверній головці закріплюють нерухомі різці та керовані інструменти, які мають індивідуальний привід і подачу паралельну або перпендикулярну до осі заготовки.

Заготовка може закріплюватись у патроні з підтисканням заднім центром (рис. 4.61, а), а компоновка інших вузлів така ж, як на рис. 4.61, б.

Заготовка може закріплюватись у патроні з можливістю обробки з однієї сторони і керованим обертанням навколо осі C , (рис. 4.61, в). При цьому обробка може виконуватись одночасно двома супортами з револьверними головками, на яких установлені різці та інструменти з індивідуальним приводом, і вони мають робочі подачі уздовж осей X_1, Z_1 та X_2, Z_2, Y .

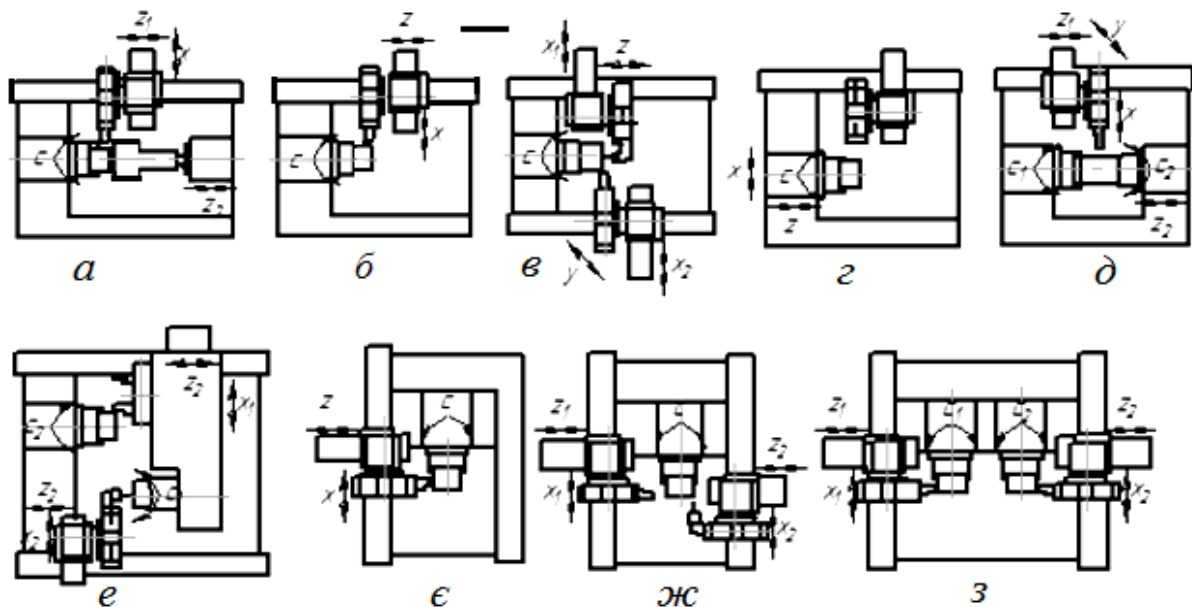


Рис. 4.61. Схеми компоновки верстатів токарної групи з горизонтальною віссю обертання шпинделя

При застосуванні електрошпинделів в процесі обробки можливі керовані переміщення заготовки уздовж осей X, Z та обертання навколо осі C (рис. 4.61, г). При цьому револьверний супорт нерухомий і на ньому закріплюють різні інструменти з індивідуальним приводом обертання (свердла, фрези тощо).

Оброблювана заготовка закріплюється (рис. 4.61, д) в основному патроні, оброблюється з однієї сторони, а після допоміжний шпиндель переміщується уздовж осі Z_2 , захоплює заготовку за оброблену частину і

відходить у вихідне положення. Дальше заготовка оброблюється з іншої сторони. Обертання обох шпинделів навколо осей C_1 і C_2 синхронізовано, що дозволяє перекріплювати заготовку без їх зупинки. Обробка виконується різними інструментами, закріпленими в револьверному супорті, який має подачі в напрямках X , Y , Z_1 . Осі обох шпинделів співвісні.

Заготовка закріплюється в одному патроні, оброблюється з одного боку, а після, за допомогою механізму, встановленого на револьверній головці, перехоплюється і закріплюється (рис. 4.61, е) в допоміжному шпинделі. Заготовка оброблюється з усіх сторін за допомогою різних інструментів, встановлених у револьверних головках різних супортів. Супорт з допоміжним шпинделем переміщується уздовж осей X_1 , Z_1 . Обидва шпинделі не співвісні і допоміжний шпиндель має кероване поперечне переміщення.

Короткі заготовки типу дисків закріплюються в патроні з керованим обертанням навколо осі C (рис. 4.61, є) і оброблюються за допомогою різців та інструментів, які обертаються і встановлені на револьверному супорті з подачами уздовж осей X та Z .

Закріплення заготовок в патронах з керованим обертанням навколо осі C (рис. 4.61, ж). Обробка може одночасно виконуватись різцями та інструментами, які обертаються і встановлені на двох револьверних супортах, що мають подачі уздовж осей X_1 , Z_1 та X_2 , Z_2 .

Закріплення заготовок у двох патронах паралельних шпинделів, які мають кероване обертання навколо осей C_1 та C_2 (рис. 4.61, з), обробка виконується різцями та інструментами, які обертаються і встановлені на револьверних супортах, що мають подачі уздовж осей X_1 , Z_1 та X_2 , Z_2 . При цьому заготовку можна обробити з двох сторін.

Розроблено ряд компоновок токарних верстатів з вертикальним розміщенням шпинделів [5].

Сучасні, середні за розмірами та висотою центрів (~ 200 мм), токарні верстати з ЧПК характеризуються високою безступеневою керованою частотою обертання шпинделів $n \leq 6000$ об/хв; потужними електродвигунами $N \leq 20$ кВт; великою швидкістю безступінчастих робочих та прискорених подач $S \leq 30$ м/хв і більше; в кожній револьверній головці можна установити до 12 (16) інструментів з осями паралельними або перпендикулярними до осі обертання шпинделя; додаткові шпинделі, встановлені на револьверних головках, мають наступну частоту обертання $n_1 \leq 4500\text{--}6000$ об/хв; час повороту револьверної головки $\leq 1\text{--}2$ с.

На рис. 4.62 показаний двошпиндельний токарний верстат з ЧПК фірми Microcut Challenger мод Dual 500 для обробки заготовок $\varnothing \leq 190$ мм. Шпиндель з діаметром отвору 91 мм обертається з $n \leq 6000$ об/хв, а швидкість подач уздовж різних осей складає до 18–25 м/хв. Верстат

оснащений двома гідравлічними револьверними 12-ти позиційними головками з максимальною частотою обертання установленого інструмента (свердла, фрези тощо) $n_1 \leq 6000$ об/хв. Ці верстати комплектуються системами ЧПК фірм Fanuc або Siemens. Потужність приводу основного та допоміжного шпинделів – по 18,5–22 кВт.

Технологічні можливості токарних верстатів з ЧПК у значній мірі залежать від кількості інструментів, які можна установити в револьверних головках. На рис. 4.63 показані різні типи револьверних головок. Розміри револьверних головок суттєво впливають на габарити верстата та розміри оброблюваних заготовок. Головка з радіальними пазами (рис. 4.63, а) дозволяє установити інструменти по периметру для роботи як у правосторонньому, так і в лівосторонньому напрямках. Головка з круглими отворами (рис. 4.63, б) призначена для установа як аксіального, так і радіального приводного інструмента. Гібридна 12-ти позиційна револьверна головка (рис. 4.63, в) має 6 радіальних пазів для зовнішнього токарного інструмента та 6 отворів під інструмент для внутрішньої обробки. На ній теж можна установити приводні інструменти.

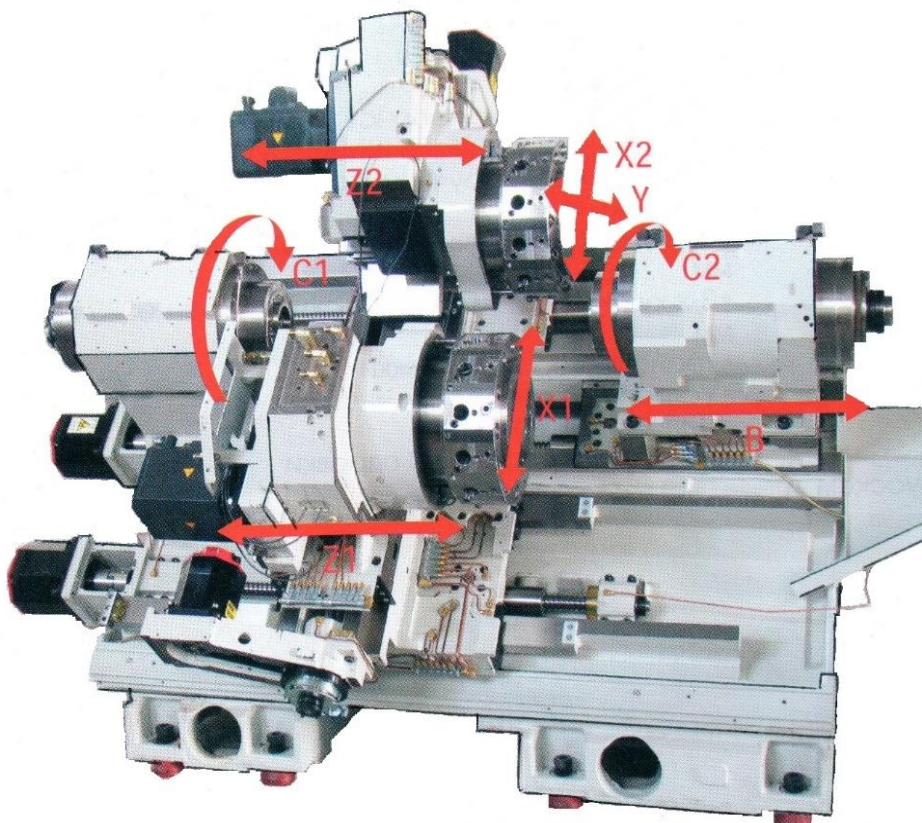


Рис. 4.62. Двошпиндельний токарний верстат з ЧПК фірми Microcut Challenger



Рис. 4.63. Типи револьверних головок фірми Haas



Рис. 4.64. Токарний верстат з ЧПК з гібридною револьверною головою

На рис. 4.64 показаний горизонтальний токарний верстат фірми Haas. Верстат має основний та допоміжний співвісні шпинделі і оснащений гібридною револьверною головою з інструментами, установленими по периметру в радіальних пазах, або в отворах, паралельних до осі шпинделя. Нахилена поверхня станини забезпечує надійне видалення стружки та МОР з зони обробки.

Далі стружка видаляється за допомогою шнекових та стрічкових транспортерів. Пульти ЧПК дозволяють безпосередньо набирати програми та слідити за процесом обробки.



Рис. 4.65. Токарний верстат з ЧПК і трьома револьверними головками

На рис. 4.65 показаний горизонтальний токарний верстат з ЧПК фірми Spinner з двома шпинделями (основним та допоміжним) та з трьома револьверними головками. Верстат призначений для виготовлення відносно невеликих деталей. Максимальна частота обертання двох шпинделів – до 7000 об/хв. У кожній з трьох револьверних головок можна установити до 12 інструментів типу різців або приводних (свердл, фрез, мітчиків тощо), осі яких паралельні або перпендикулярні до осі шпинделя. Кожна з головок має поперечну та осьову подачу в напрямі до основного або до допоміжного шпинделя.

На рис. 4.66 показана остаточна обробка деталі, закріпленої в допоміжному шпинделі, за допомогою приводної фрези, установленної на револьверній головці.

Для завантаження заготовок валів, дисків та інших деталей в зону обробки токарних верстатів з ЧПК розроблені автоматизовані пристрої завантаження, робота яких узгоджується з роботою верстата за допомогою єдиної системи ЧПК. При цьому верстат з ЧПК перетворюється в повністю автоматизований модуль, який може працювати автономно або включатись у ГВС.

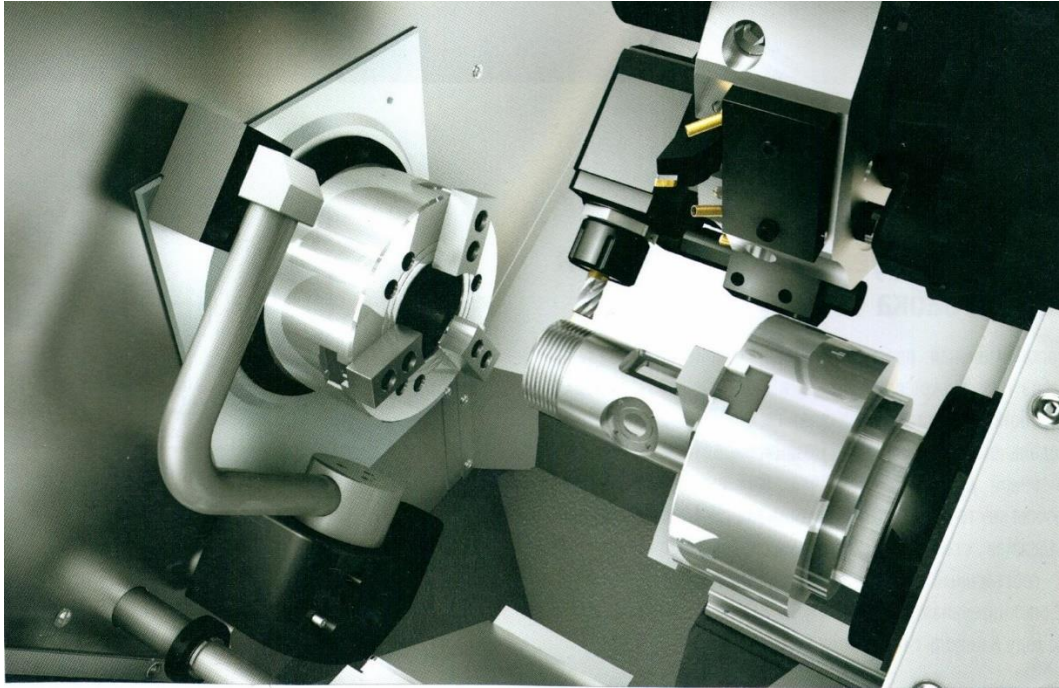


Рис. 4.66. Обробка деталі за допомогою приводного інструмента

У сучасних токарних верстатах з ЧПК забезпечується, в основному, дискретність подач – 0,001 мм, точність позиціонування – $\pm 0,005$ мм, повторюваність – $\pm 0,0025$ мм, що забезпечує при завершальній обробці точність обробки діаметральних розмірів в межах 0,02–0,04 мм, осьових розмірів – 0,03–0,06 мм. Ця точність відповідає 7-му квалітету при шорсткості оброблених поверхонь $R_a \leq 1,25\text{--}5$ мкм.

4.5.8. Верстати з ЧПК і оброблюючі центри свердильно-фрезерно-розточувальної групи

Перші моделі верстатів з ЧПК для виконання свердильних, фрезерних та розточувальних робіт розроблялись на базі відповідних універсальних металорізальних верстатів (МРВ) з ручним керуванням шляхом автоматизації робочих і допоміжних рухів та заміни інструментів за допомогою ЧПК.

У процесі удосконалення ці верстати зазнали значних змін як конструктивних, так і щодо їх технологічних можливостей. Незважаючи на велику кількість різних моделей верстатів, усі вони, як правило, можуть виконувати свердильні, фрезерні і розточувальні роботи.

Удосконалення верстатів з ЧПК направлене на збільшення числа осей одночасного керування, збільшення місткості інструментальних магазинів, зростання потужності електродвигунів, частоти обертання

шпинделів і швидкості подач, підвищення точності позиціонування робочих органів верстатів і точності обробки, збільшення жорсткості верстатів і зменшення вібрацій та теплових деформацій, оптимізацію подачі МОР в зону різання та видалення стружки тощо.

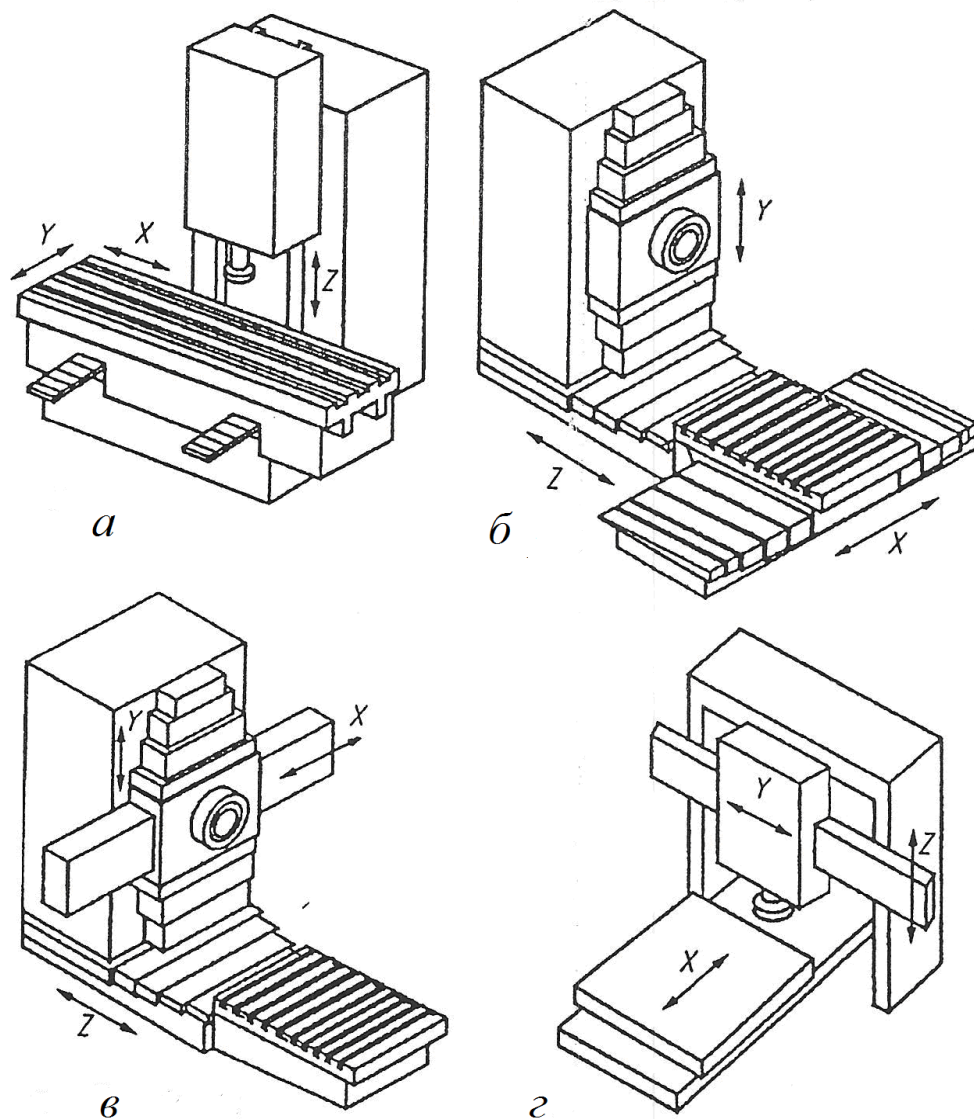


Рис. 4.67. Схеми компоновки верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи

У сучасних верстатах з вертикальною або горизонтальною віссю обертання шпинделя найчастіше застосовують компоновки, показані на рис. 4.67 [5]:

а) з хрестовим столом, який має робочі переміщення в горизонтальній площині уздовж осей X та Y , і з піноллю шпинделя, яка переміщується вертикально уздовж осі Z ;

б) з столом, який має подачу уздовж осі X , шпиндельною бабкою, яка переміщується уздовж осі Y , та піноллю шпинделя, який має подачу уздовж осі Z ;

в) з шпиндельною бабкою, яка має переміщення уздовж осей X , Y , Z ;

г) портального типу, коли довгий стіл переміщується уздовж осі X , а шпиндельна бабка – уздовж осей Y та Z .

4.5.9. Свердлильні верстати з ЧПК

Свердлильні і розточувальні верстати з ЧПК, як правило, створювались на базі універсальних моделей. На свердлильних верстатах з ЧПК з вертикальним шпинделем доцільно оброблювати заготовки деталей з великою кількістю отворів з боку шпинделя. Найкраще, коли необхідно обробити багато однотипних отворів з паралельними осями. При необхідності обробки різних отворів, застосовують верстати з 6–8-ми позиційними револьверними головками.

Ці верстати дозволяють без кондукторів, але з зацентруванням отворів діаметром до 20 мм, забезпечити точність міжцентрової відстані не гіршою ніж $\pm 0,1$ мм.

На рис. 4.68 показана компоновка вертикально-свердлильного верстата з шестишпиндельною револьверною головкою 1, колоною 2, хрестовим столом 3 та револьверним супортом 4. Стіл має кероване переміщення уздовж осей X та Y , а револьверний супорт – вертикальне переміщення уздовж осі Z .

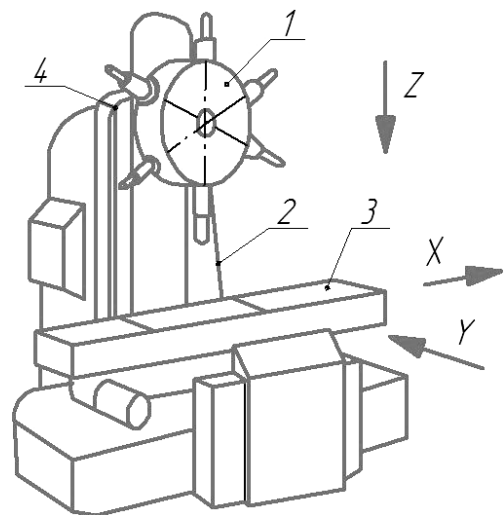


Рис. 4.68. Компоновка вертикально-свердлильного верстата з ЧПК

4.5.10. Розточувальні верстати з ЧПК

Достоїнства розточувальних верстатів з ЧПК з горизонтальним шпинделем у тому, що на них можна з одного установу оброблювати в заготовках корпусних деталей як точні отвори з точною міжцентровою відстанню, так і групи дрібних, кріпильних та різьбових отворів. Найбільше розповсюджені горизонтально-розточувальні верстати без заднього стояка, з поворотним столом. Такі верстати, завдяки високій точності позиціонування РО, забезпечують високо-продуктивну обробку

співвісних отворів консольно закріпленим інструментом з двох сторін заготовки за допомогою повороту стола на 180° . Поворотний стіл дозволяє також оброблювати взаємно перпендикулярні і нахилені отвори з усіх 4-х боків заготовки.

Точність міжосьових відстаней складає не менш як $\pm 0,01$ мм. Після чистової обробки точність отримуваних отворів відповідає 7-му квалітету. Точність міжосьових відстаней не гірша 0,05–0,07 мм. На горизонтально-розточувальних верстатах великих розмірів можна фрезерувати різні поверхні та контури, свердли, зенкерувати, розточувати і розгортати отвори, нарізувати в них різьбу.

На рис. 4.69 показана компоновка горизонтально-розточувального верстата з колоною 1, дисковим магазином інструментів 2 та піноллю шпинделя 3.

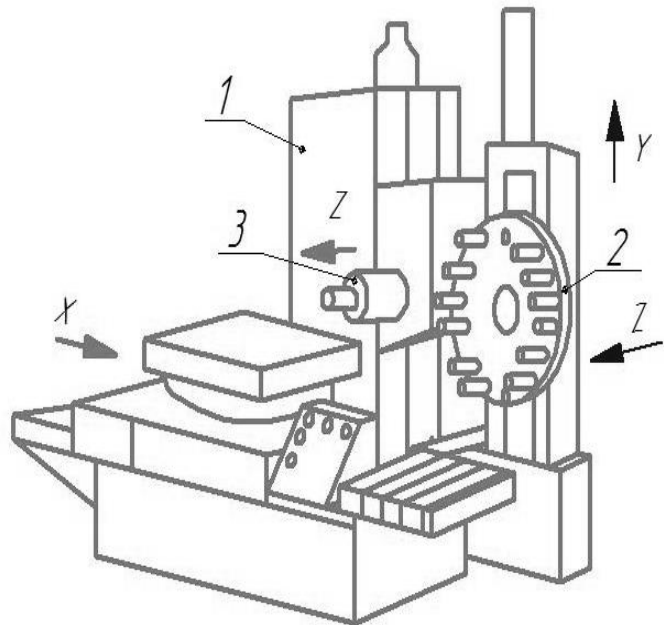


Рис. 4.69. Компоновка горизонтально-розточувального верстата з ЧПК

4.5.11. Фрезерні верстати з ЧПК

Більшість фрезерних верстатів з ЧПК побудовані на базі універсальних моделей з ручним керуванням. Деякі застарілі фрезерні верстати з ЧПК можуть мати один шпиндель з ручною заміною РІ і застосовуються для обробки складних контурів, але сучасніші моделі мають 5, 6, 8-ми позиційну револьверну головку, або магазин для РІ, і хрестовий стіл, які керуються за програмою. Вони мають високу точність і жорсткість (завдяки безлюфтовим кульковим або роликовим парам в механізмах подачі РО та направляючих); оснащені контурними системами ЧПК з лінійно-круговим інтерполяторами; мають блок зміщення еквідистанти, що дозволяє за однією програмою працювати новими і переточеними фрезами; автоматичне перемикання частоти обертання шпинделя і величини подачі РО; заміну РІ за допомогою повороту револьверної головки або магазину; поворотний стіл, який при горизонтальному шпинделі верстата дозволяє оброблювати заготовку з

різних боків; можна виконувати обробку з зустрічним або попутнім фрезеруванням.

Фрезерні верстати з ЧПК оброблюють в автоматичному режимі плоскі контури різної кривизни, виконують об'ємне фрезерування радіусними фрезами, свердління, зенкерування і розточування. Точність обробки контуру знаходиться в межах $\pm 0,1$ мм, точність отримання лінійних розмірів – $\pm 0,08$ мм. На верстатах з вмонтованим круглим столом (типу 6306Ф3) можна оброблювати взаємно паралельні і перпендикулярні площини без переставляння заготовки, а також розточувати точні отвори з двох боків. При цьому забезпечується взаємна паралельність і перпендикулярність оброблених поверхонь на цих верстатах в межах 0,05 мм на довжині 500 мм. Шорсткість оброблених поверхонь відповідає R_a 2,5–5 мкм.

Особливо широко фрезерні верстати застосовують при виготовленні пресформ, штампів та інших складних виробів.

Для обробки великогабаритних заготовок застосовують порталні фрезерні верстати з ЧПК з довжиною станини до 20 м.

Сучасні фрезерні верстати з ЧПК мають частоту обертання шпинделя до 24000 об/хв, при цьому швидкість подачі робочих органів (РО) – до 40 м/хв, місткість магазинів інструментів – до 30 і більше. Точність позиціонування РО верстатів становить 0,008 мм, повторюваність складає 0,004 мм. Спеціалізовані фрезерні верстати з оригінальною компоновкою і інструментальними магазинами утворили окрему групу верстатів з ЧПК – оброблюючі центри.

4.5.12. Оброблюючі центри

Для забезпечення високопродуктивної і точної обробки заготовок сучасні оброблюючі центри (ОЦ) комплектуються системами автоматичної заміни інструментів, повітряного охолодження шпинделя, охолодження інструмента, продування конуса шпинделя, пневмопротиваги шпиндельної головки, контролю зносу інструмента, функції жорсткого нарізування різьби, теплообмінником шафи електрообладнання, пристроєм сепарації мастильно-охолодної рідини (МОР) та масла, автоматичного дозованого змащування поверхонь тертя, шнеками та транспортерами для видалення стружки, контейнером для стружки, поворотною панеллю оператора керування, системами контролю та вимірювання оброблених поверхонь, діагностики тощо. Зона різання надійно захищається від розбризкування МОР та стружки, яка розлітається.

Продуктивність оброблюючих центрів з ЧПК суттєво залежить не тільки від основного часу T_o , затрачуваного безпосередньо на зрізання

стружки, але й від допоміжного часу T_0 , який витрачається на заміну інструмента, установлення та закріплення заготовки, виконання холостих ходів у процесі обробки, контроль розмірів оброблених поверхонь тощо.

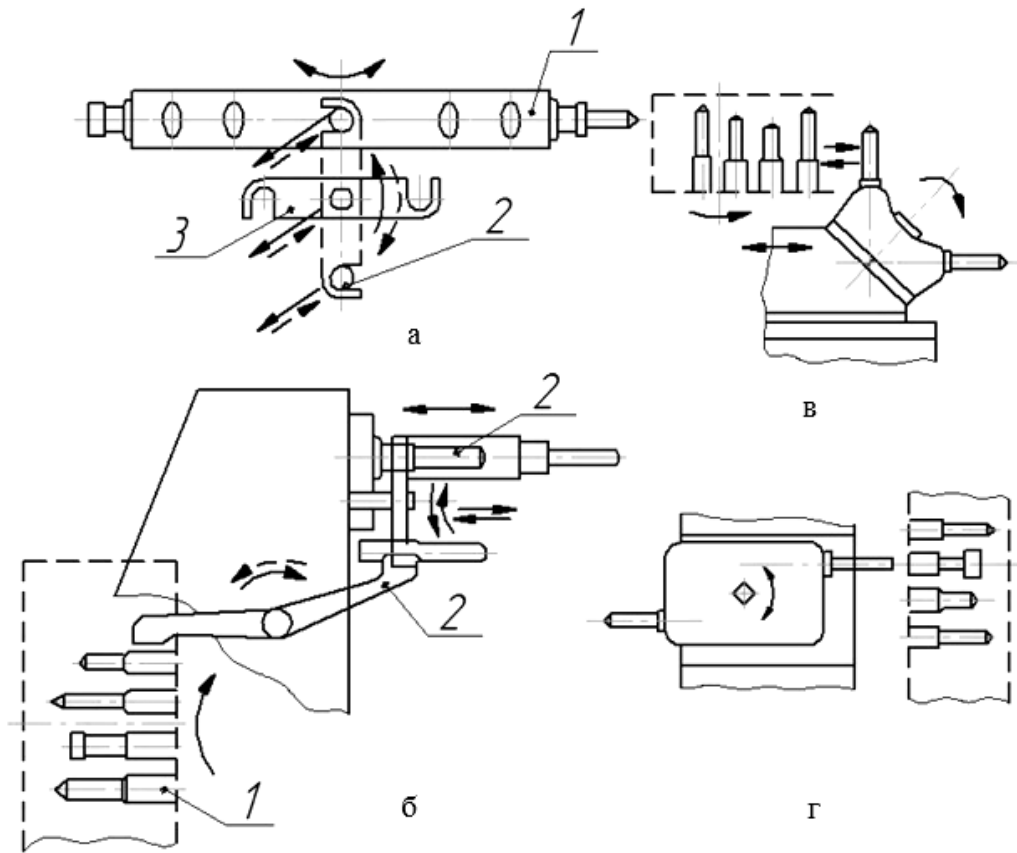


Рис. 4.70. Схеми автоматичної заміни інструментів на верстатах з ЧПК

Для розміщення РІ найчастіше застосовують дискові, барабанні та ланцюгові магазини. Розповсюджені верстати з фіксованими адресами розміщення інструмента в магазині (тобто певні інструменти постійно знаходяться в одному і тому ж гнізді магазину), та з магазинами зі змінними адресами (тобто, коли механічна рука одночасно виймає використаний інструмент з шпинделя і необхідний інструмент з магазину, повертається і вставляє використаний інструмент у гніздо необхідного інструмента, а необхідний РІ – у шпиндель).

У другому випадку в програмі автоматично змінюється адреса нового положення інструмента, що суттєво зменшує час заміни РІ.

Сучасні ОЦ найчастіше оснащені магазинами з кількістю РІ ≤ 50 , але є верстати оснащені ланцюговими магазинами з кількістю РІ до 262.

Різні схеми автоматичної заміни РІ наведені в рис. 4.70, але найширше розповсюджені магазини, показані на рис. 4.71.

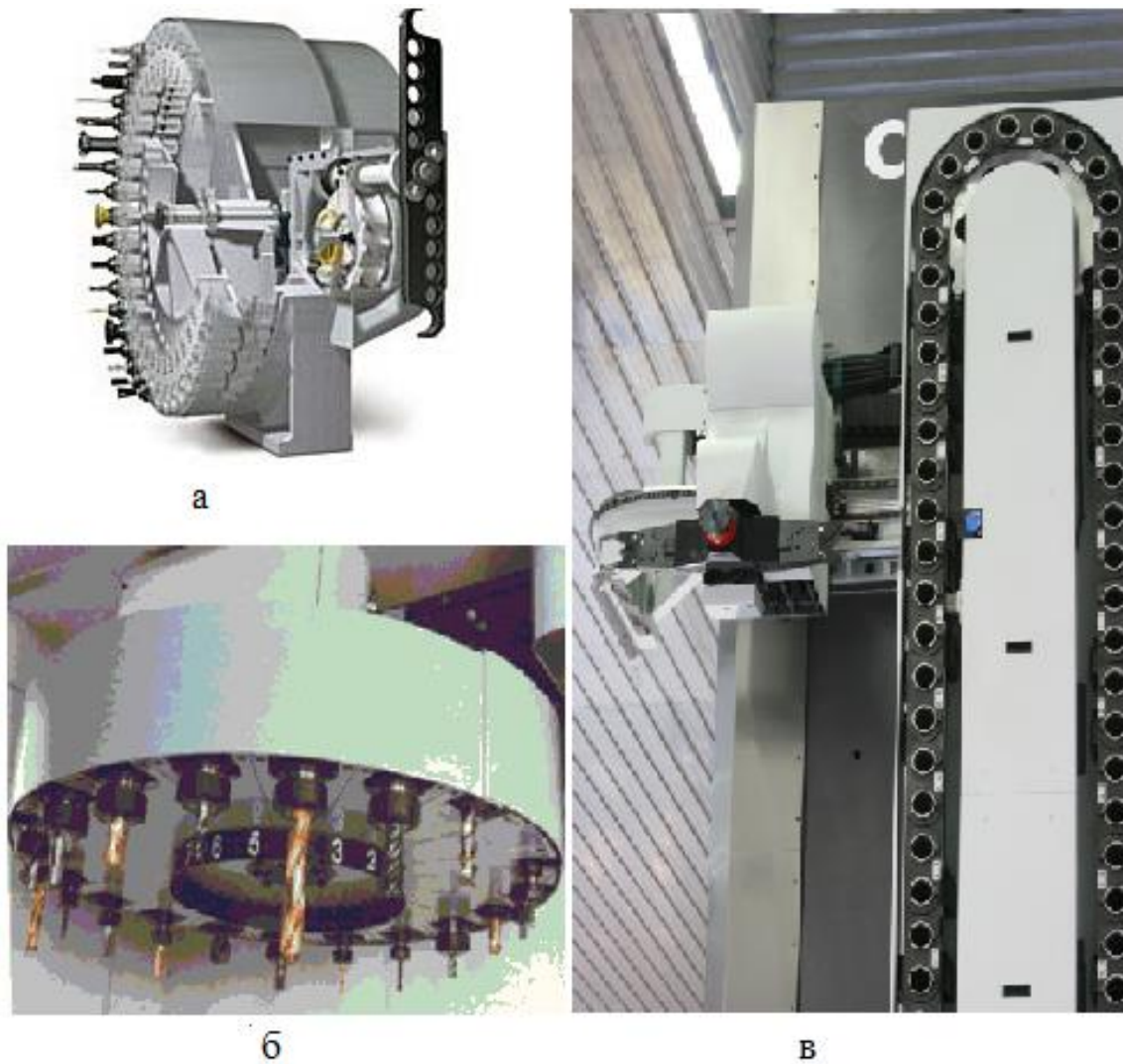


Рис. 4.71. Типи магазинів для розміщення інструментів на верстатах з ЧПК

На рис. 4.71, а показаний 40-камісний магазин РІ бокового розміщення, який займає мало місця але потребує повороту інструмента при його заміні. На рис. 4.71, б – дисковий магазин з вертикальною віссю повороту і з інструментами, розміщеними навколо шпинделя, а ланцюговий магазин великої ємності, представлений на рис. 4.71, в. Час заміни РІ у залежності від типорозміру та габаритів верстата, маси інструмента та конструкції магазину, знаходиться в межах 1,3–5 с, а час «від різку – до різку» – 3–7 с.

Щоб зменшити час заміни заготовки, застосовують різні конструкції багатопозиційних столів (рис. 4.72) або змінні палети, коли під час обробки заготовки на одній позиції, верстатник на іншій позиції знімає оброблену деталь і установлює нову необроблену заготовку. Час заміни палет або зміни позицій стола верстата знаходиться в межах до 30–90 с.

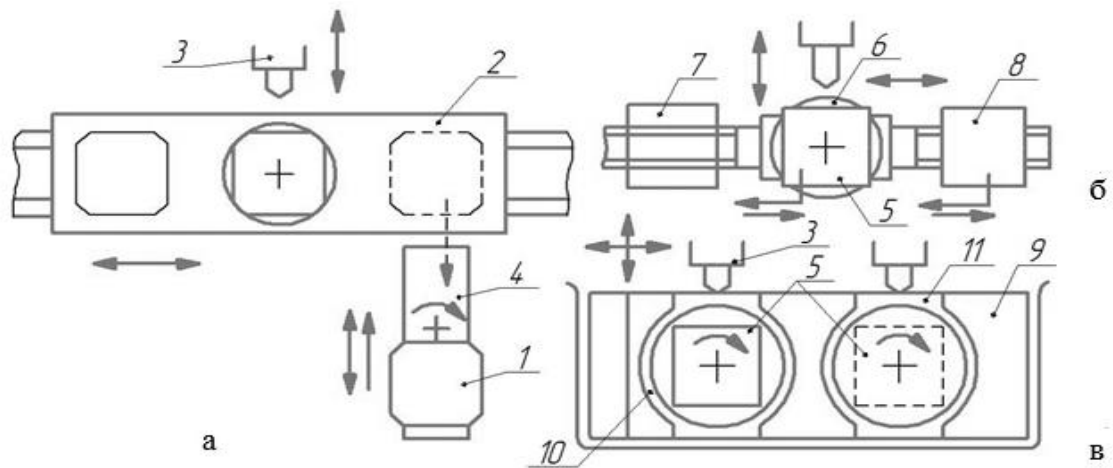


Рис. 4.72. Способи кантування та заміни оброблюваних заготовок на верстатах з ЧПК

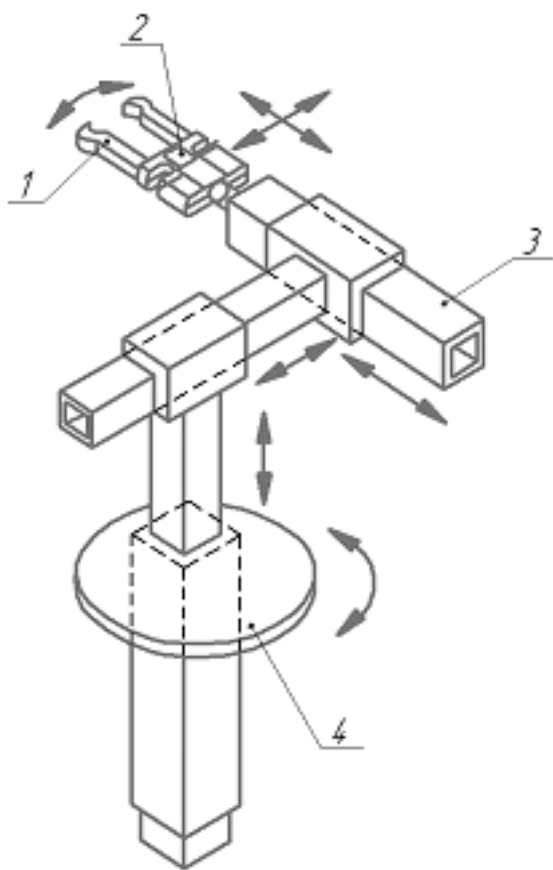


Рис. 4.73. Манипулятор з чотирма ступенями вільності

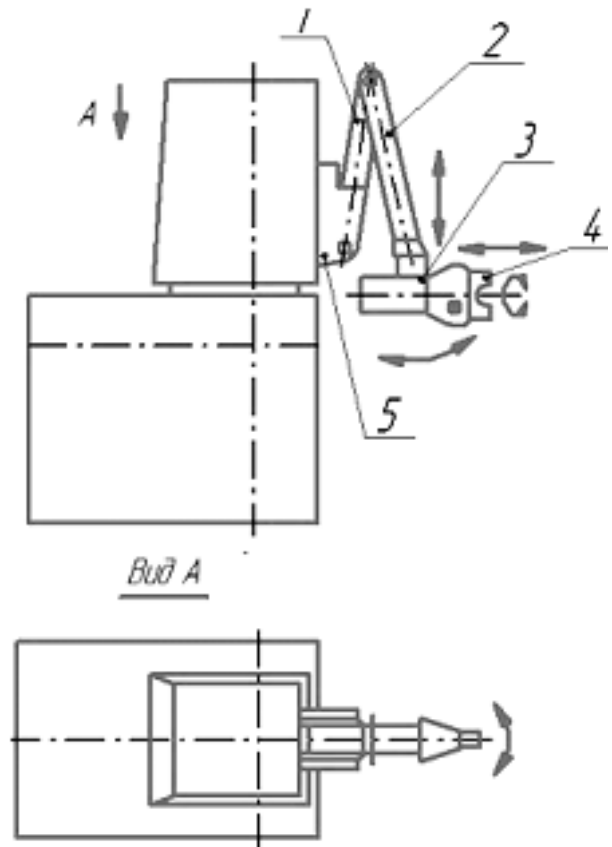


Рис. 4.74. Схема важільного маніпулятора

Повністю автоматизувати верстати з ЧПК можна за допомогою різних механізмів для завантаження заготовок (рис. 4.73 та 4.74). Для цього багато фірм випускають різні завантажувальні пристрої у вигляді роботів,

маніпуляторів, механічних рук тощо, робота яких узгоджується з роботою верстата за допомогою єдиної системи ЧПК.

Для підвищення технологічних можливостей 3-х координатних верстатів з ЧПК застосовують додаткові поворотні столи, що дозволяє підвищити число керованих координат до 4–5-ти. На рис. 4.75, а показаний поворотний стіл, який може повертатися навколо однієї осі і установлюється горизонтально або вертикально.

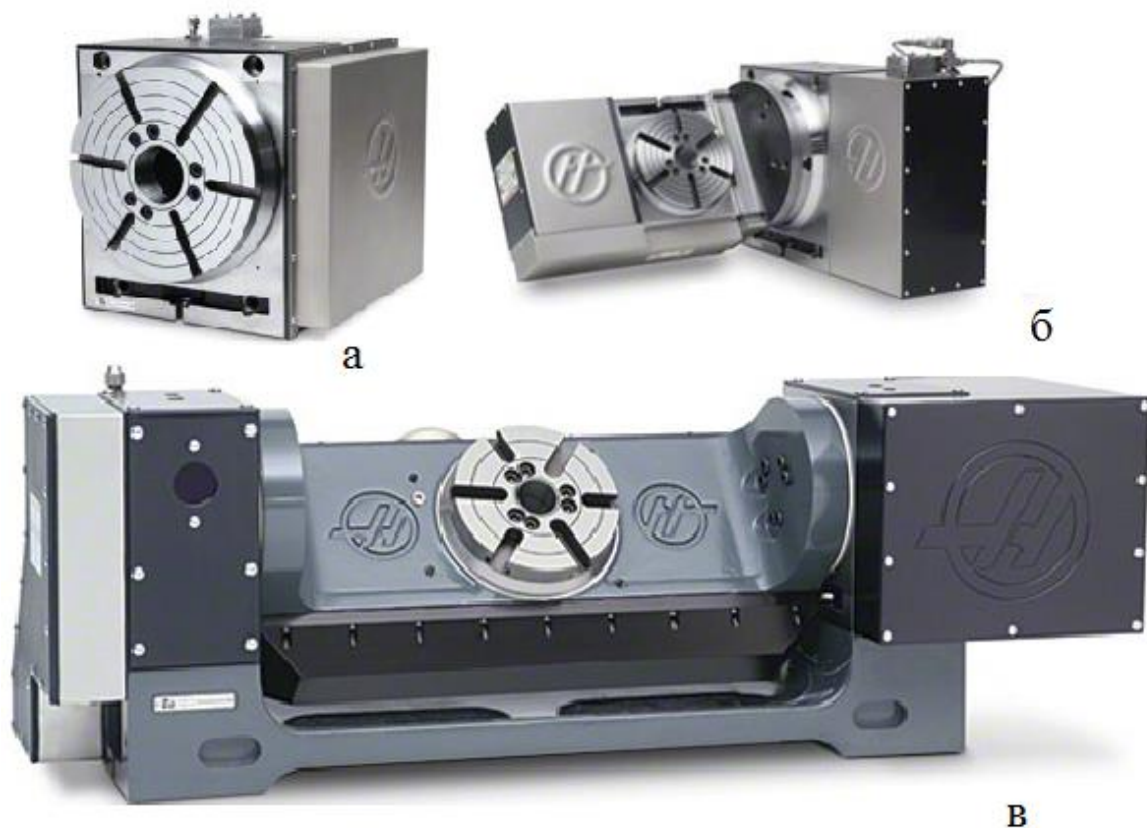


Рис. 4.75. Типи додаткових поворотних столів для верстатів з ЧПК

На рис. 4.75, б показаний консольний стіл, який може повертатися навколо двох осей і призначений для обробки відносно невеликих заготовок. На рис. 4.75, в наведений двокоординатний «глобусний» стіл. Такі столи можуть мати фіксований поворот або безперервну кругову подачу, яка задається програмою ЧПК. Дискретність повороту таких столів дорівнює $0,001^\circ$, а швидкість обертання – $0,001\text{--}300^\circ/\text{с}$, що складає приблизно ~ 50 об/хв.

Сучасні верстати з ЧПК часто випускають з вмонтованими поворотними або глобусними столами, що збільшує їх технологічні можливості, але підвищує вартість.

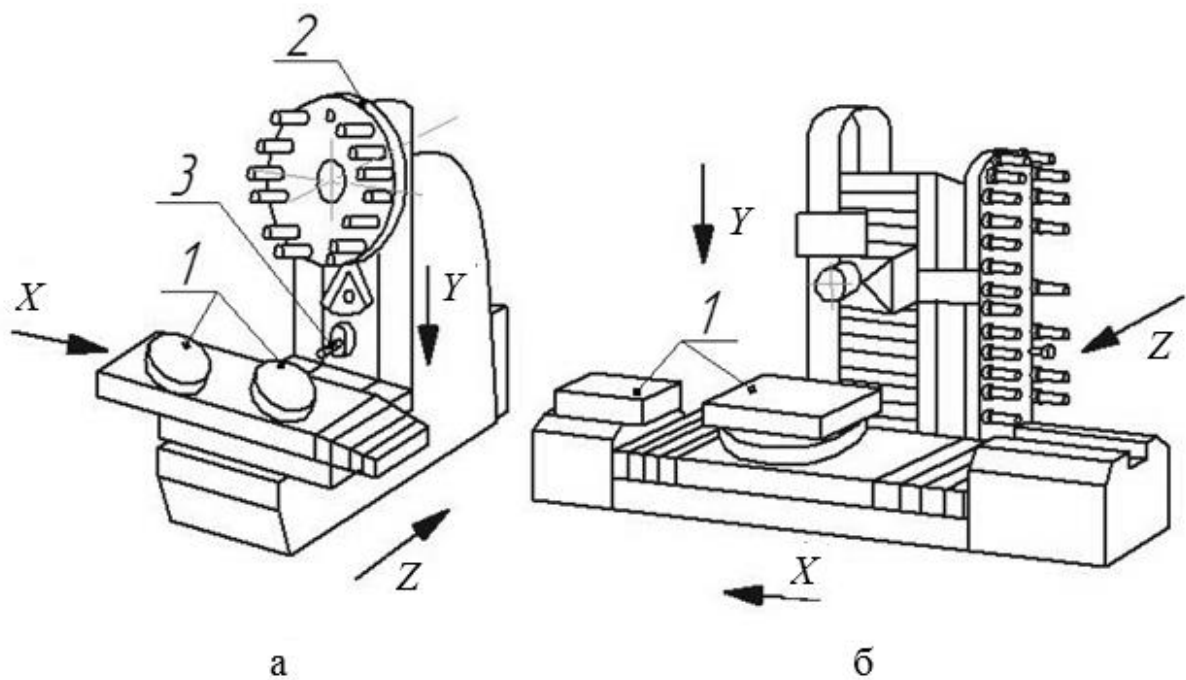


Рис. 4.76. Схеми багатоопераційних верстатів з ЧПК



Рис. 4.77. Оброблюючий центр з вертикальним шпинделем

На рис. 4.76, а показана схема оброблюючого центра з двопозиційним столом 1 (для швидкої заміни заготовок), дисковим магазином 2 і шпинделем 3. Стіл має робочі подачі в горизонтальній

площині уздовж осей X та Z , а шпиндельна бабака – вертикальне переміщення уздовж осі Y .

На рис. 4.76, б показана схема оброблюючого центра з двопозиційним столом і ланцюговим магазином для інструментів. Стіл переміщується уздовж осі X , а шпиндель – уздовж осей Y та Z .

На рис. 4.77 показано ОЦ з вертикальним шпинделем, з числом керованих координат $3 + 2 = 5$ (три – переміщення шпиндельного супорта з шпинделем – координати X , Y , Z ; дві – поворот глобусного стола навколо горизонтальної і вертикальної осей – координати A , C). Магазин з РІ та інші механізми надійно захищені від попадання стружки і МОР.

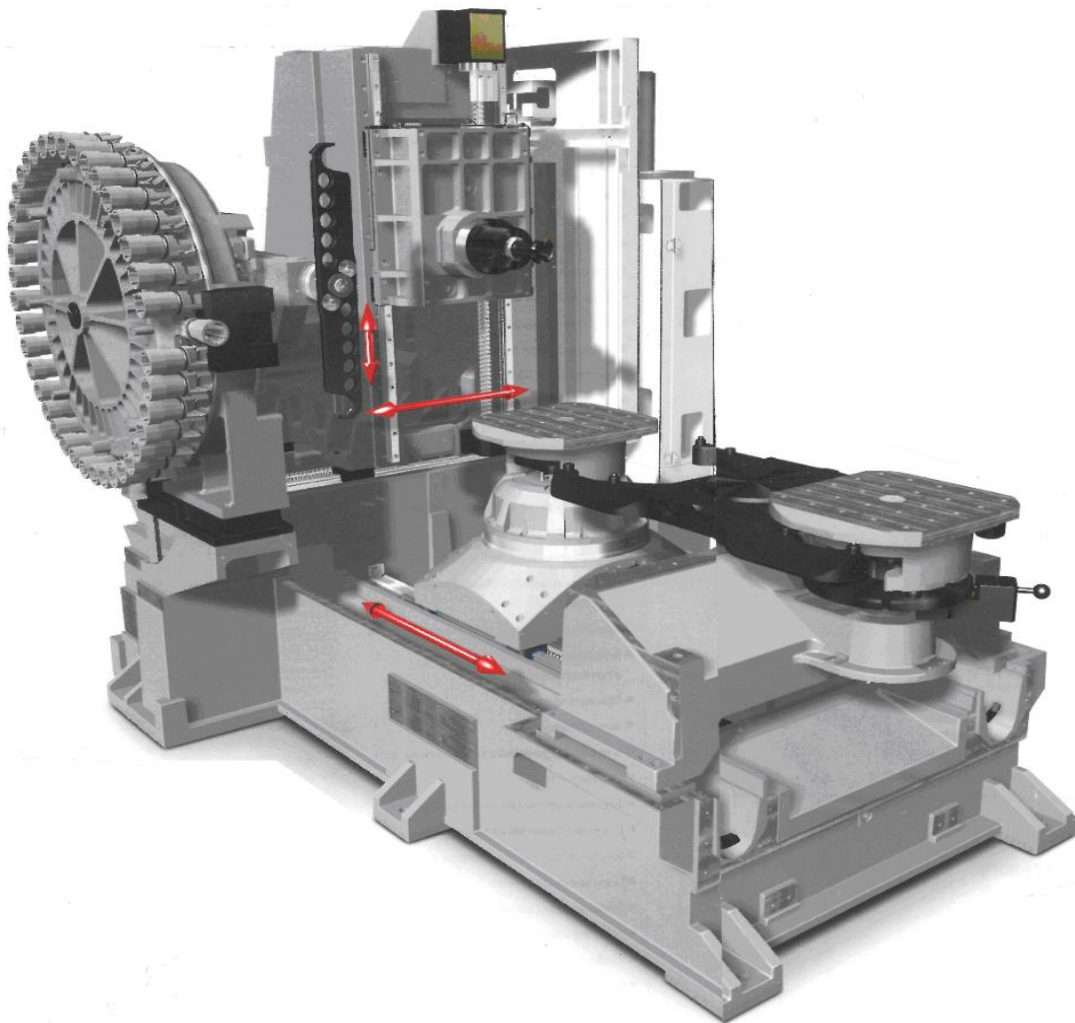


Рис. 4.78. Оброблюючий центр з горизонтальним шпинделем

На рис. 4.78 показаний 4-координатний ОЦ з горизонтальним шпинделем. Шпиндельна бабка переміщується горизонтально – уздовж осі X , вертикально – уздовж осі Y , а поворотний стіл – уздовж осі Z і має

керований поворот навколо вертикальної осі (координата B). Верстат оснащений 40-камісним інструментальним магазином і механізмом типу «рука» для заміни інструментів у шпинделі. Верстат має керований програмою механізм заміни поворотних столів, що дозволяє під час обробки заготовки на одному столі з іншого знімати оброблену деталь і установлювати нову заготовку.

Велика місткість інструментальних магазинів ОЦ, можливість за один установ обробити заготовку з 5-ти сторін і висока точність позиціонування РО дозволяють з високою продуктивністю виготовляти дуже складні та точні деталі (рис. 4.79), які іноді неможливо обробити на звичайних верстатах з ручним керуванням.

ОЦ працюють з підвищеними режимами різання, що в поєднанні з автоматизацією усіх допоміжних дій підвищує продуктивність праці у порівнянні зі звичайними універсальними верстатами в 4–10 і більше разів. Один ОЦ замінює 5–10 верстатів традиційної конструкції і окупає витрати за 1–2 роки.

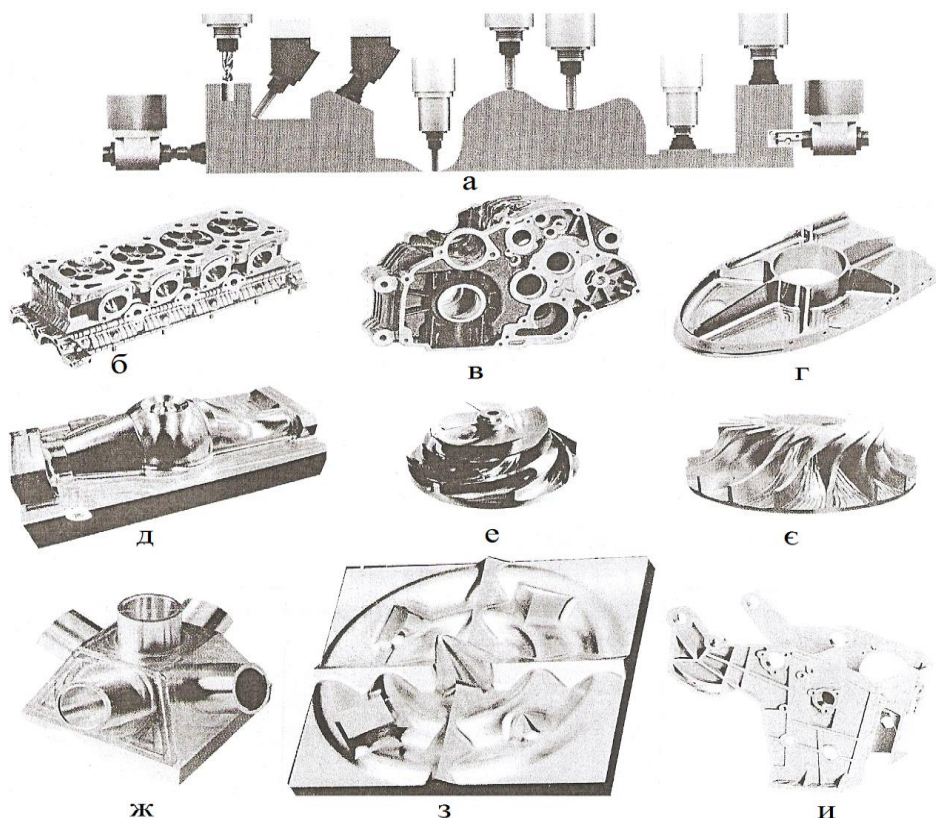


Рис. 4.79. Типи деталей, оброблюваних на ОЦ з ЧПК

У сучасних ОЦ з ЧПК частота обертання шпинделів, в основному, знаходиться в межах $n \leq 6000 - 24000$ об/хв, а величина робочих подач і

холостих ходів – до 40 м/хв. Найвища ефективність обробки на ОЦ забезпечується при їх експлуатації в 2–3 зміни.

Обробка на ОЦ заготовок складної форми забезпечує високу точність взаємного розміщення оброблених поверхонь. Дискретність подач робочих органів ОЦ – $\pm 0,001\text{--}0,0005$ мм. Точність позиціонування РО : для ОЦ нормальної точності – $\pm 0,01$ мм; а для центрів високої точності – $\pm (0,005\text{--}0,01)$ мм; прецизійних – $\pm (0,002\text{--}0,005)$ мм. Повторюваність позиціонування – до 0,0025 мм. Загальна похибка завершальної обробки для ОЦ нормальної точності складає $\pm 0,05$ мм, високої точності – $\pm 0,01$ мм. При обробці діаметральних розмірів досягається 7-ий, а іноді 5-ий, квалітет точності при шорсткості поверхонь $R_a = 5\text{--}2,5$ (до 1,25) мкм.

4.5.13. Гнучке автоматизоване виробництво

В усіх промислово розвинених країнах світу автоматизація механічної обробки деталей в машинобудуванні здійснюється за рахунок постійно розширюваного використання обладнання з ЧПК і створення на його основі гнучких виробничих систем (ГВС), які управляються електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ).

Ця нова концепція механоскладального виробництва дозволяє в межах технологічних можливостей використовуваного обладнання обробляти широкі по номенклатурі групи деталей будь-якими партіями, в будь-який, необхідний для складання час для збірки. При цьому підготовчі роботи і, при необхідності, переналагодження, поєднуються у часі з функціонуванням системи.

Завдяки цій концепції стає можливим використання ГВС в одиничному, серійному і масовому виробництвах.

Експлуатація найбільш досконалих ГВС показує, що при роботі в три зміни обсяг виробництва за цей час зростає до 5 разів, а кількість обслуговуючого персоналу скорочується в 2–3 рази.

ГВС можна класифікувати за такими ознаками: організаційному; комплексності виготовлення виробів; виду обробки; різновиду оброблюваних виробів; рівнем автоматизації.

За організаційною ознакою ГВС поділяють на гнучку автоматизовану лінію (ГАЛ), гнучку автоматизовану ділянку (Г АД) і гнучкий автоматизований цех (ГАЦ). Отже, верхнім рівнем ГВС є ГАЦ.

До складу ГАЦ можуть входити ГАЛ, Г АД, роботизовані технологічні лінії і ділянки, окреме технологічне обладнання (гнучкі виробничі модулі – ГВМ, окремі верстати з ЧПК та ін.).

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ) є основною складовою частиною ГВС. Крім функцій обробки деталей ГВМ виконує в

автоматичному режимі накопичення заготовок, завантаження заготовок в зону різання, вивантаження оброблених деталей, частковий або повний контроль точності обробки та інші допоміжні операції.

Гнучкий переналагоджуваний свердлильно-фрезерно-розточний модуль МА2765МЗФ4 з ЧПК (рис. 4.80) має багатошпindelні коробки і складається з багатоцільового верстата 6, систем автоматичної зміни багатошпindelних коробок і оброблюваних деталей, системи керування.

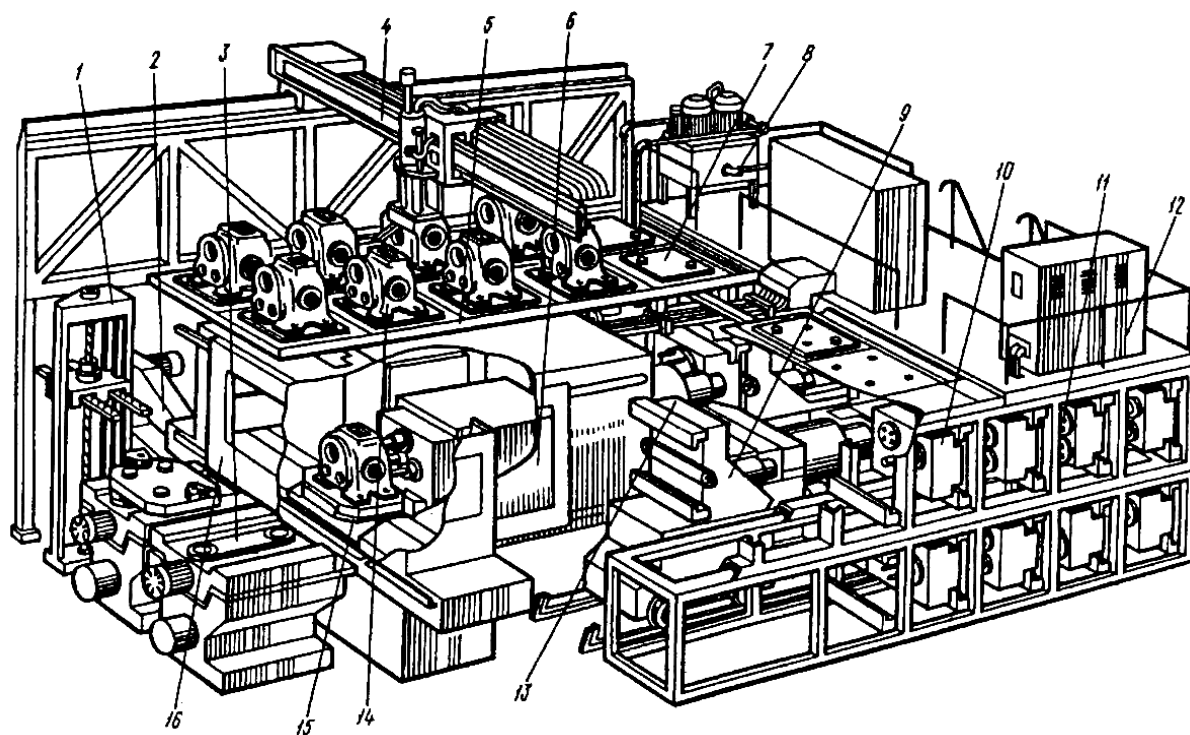


Рис. 4.80. Переналагоджуваний ГВМ мод. МА2765МЗФ4 з магазином багатошпindelних головок:

1 – підійомник-укладальник, 2 – пристрій для видалення стружки, 3 – станція завантаження і затиску, 4 – маніпулятор, 5 – склад, 6 – верстат з ЧПК, 7 – столи-супутники, 8 – насосна станція гідрообладнання, 9 – автооператор, 10 – коробки, 11 – склад, 12 – система ЧПК, 13 – привід головного руху, 14 – оброблювані деталі, 15 – поперечно-рухомий поворотний стіл, 16 – огорожа кабінетного типу

Багатоцільовий верстат включає привід головного руху 13, поперечно-рухомий поворотний стіл 15, огорожу кабінетного типу 16, систему підготовки мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), пристрій для видалення стружки 2 із зони різання, станцію мастила і насосну станцію гідрообладнання 8.

Система автоматичної зміни багатошпindelних коробок складається з складу 11, де зберігаються коробки 10, і автооператора 9, що виконує їх зміну.

Система автоматичної зміни оброблюваних деталей включає двопозиційну станцію завантаження і затиску 3 оброблюваних деталей, підйомник-укладальник 1, що подає за допомогою маніпулятора 4 оброблюваних деталей 14 зі складу 5 на станцію завантаження. На складі крім деталей є столи-супутники 7 з пристосуваннями для установки і закріплення деталей.

Керування модулем здійснюється від системи ЧПК 12. Модуль служить для багатоопераційної обробки за програмою групи деталей типу корпусів з чорних і кольорових металів і використовується як індивідуально, так і в складі ГВС. Система автоматичної зміни багатошпіндельних коробок складається з складу 11, де зберігаються коробки 10, і автооператора 9, що виконує їх зміну.

Деталі обробляються інструментами, закріпленими в багатошпіндельних коробках.

Для переналагоджування модуля необхідно замінити затискні пристрої, багатошпіндельні коробки з інструментами і технологічні програми обробки партії нових деталей; останні вводяться в ЧПК або з пульта управління модулем, або шляхом заміни програмоносія [15].

Для автоматизації великосерійного і масового виробництва створюються гнучкі автоматичні лінії (ГАЛ), в яких закладені умови ефективного використання обладнання на основі поточного методу виготовлення продукції за схемою верстат-верстат, високої концентрації операцій, високопродуктивних режимах різання і т.д.

Властивості гнучкості в ГАЛ забезпечуються застосуванням переналагоджуваного обладнання і систем управління на базі засобів обчислювальної техніки. Характерним прикладом ГАЛ може служити гнучка автоматична лінія обробки в будь-якій послідовності заготовок зубчастих коліс двох типорозмірів (рис. 4.81).

Заготовки кожного типу завантажуються в бункер 1 і з нього елеватором 2 в орієнтованому положенні подаються на фіксовану позицію, з якої промисловим роботом 4 встановлюються в патрон токарного автомата 5. Система управління ГАЛ змонтована в шафі 3. Між першим і другим шпінделями токарного автомата розміщено поворотний пристрій 6, який розгортає заготовку на 180° для обробки її з іншого боку.

Після повної токарної обробки внутрішня поверхня заготовки контролюється на позиції 7, і при необхідності дається команда на підналадку інструменту. Потім робот укладає деталі на проміжний транспортер-накопичувач 8.

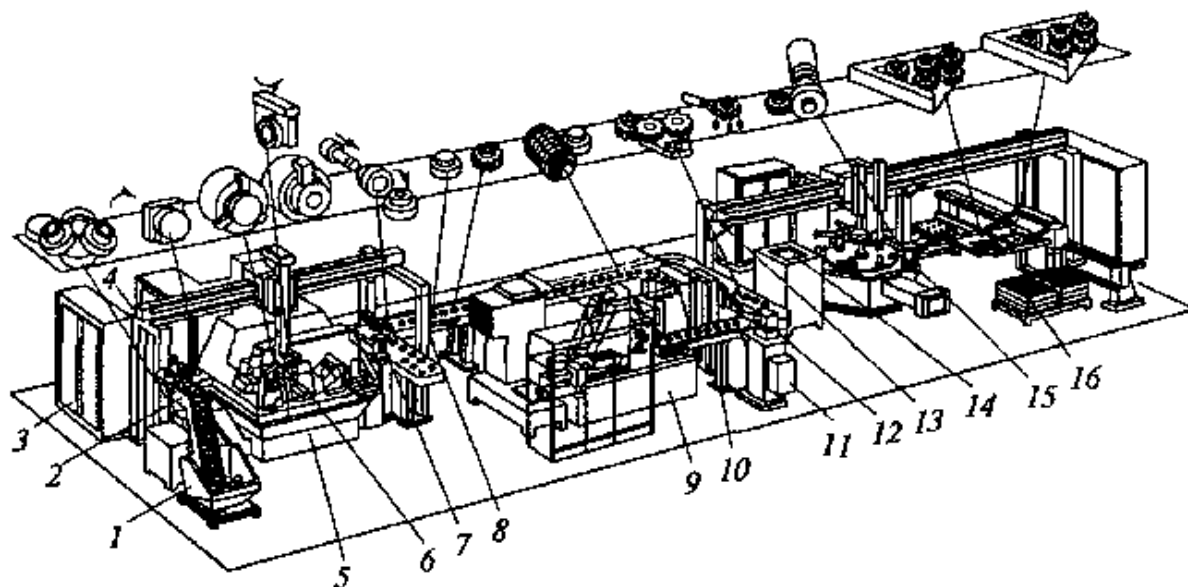


Рис. 4.81. ГАЛ для обробки зубчастих коліс:

1 – бункер з заготовками, 2 – елеватор, 3 – шафа системи управління, 4 – промисловий робот, 5 – токарний автомат, 6 – поворотний пристрій, 7 – контрольна позиція, 8 – транспортер-накопичувач, 9 – зубофрезерний верстат з ЧПК, 10 – транспортно-завантажувальна система, 11 – пристрій контролю нарізаних зубів, 12 – автооператор, 13 – промисловий робот, 14 – мийна машина, 15 – верстат для зняття фасок, 16 – спеціальна тара

Зуб'я нарізаються на зубофрезерному верстаті 9 з ЧПК. На транспортно-завантажувальній системі 10 верстата установлюють пристрій 11 для контролю нарізаних зубів. Заготовки на контрольний пристрій подаються автооператором 12. Потім промисловий робот 13 подає заготовки в мийну машину 14, а звідти на верстат для зняття фасок 15. Після обробки робот 13 роздільно укладає шестерні в спеціальну тару 16 для подальшого транспортування.

Управління гнучкими виробничими системами складального виробництва ГВСсв (рис. 4.82) проводиться автоматизованими системами управління складального виробництва АСУсв, яка отримує команди від АСУВ. Управління гнучким технологічним комплексом складального виробництва ГТКсв, об'єднуючим три гнучких автоматизованих центрів складання ГАЦс, здійснюється системою управління ГТКсв. Управління кожним ГАЦс проводиться відповідною системою управління ГТКсв. ГАЦс складається з двох гнучких автоматизованих ділянок складання ГАДс, а ділянку ГАДс – з двох гнучких автоматизованих ліній складання ГАЛс. Управління ділянками здійснюється відповідними системами управління ГТКсу, а лініями – ГТКсл.

Подача складених компонентів (деталей, комплектуючих виробів, вузлів) і оснащення (інструменту, пристосувань) спочатку здійснюється в зовнішню систему транспортування, де вони переміщуються

транспортними роботами. З системи транспортування 6 компоненти що складаються і оснащення подаються або на автоматизовані склади цехів і діляниць, а потім на внутрішню систему транспортування цеху (ділянки), або відразу на внутрішню систему транспортування цеху (ділянки).

З останньої системи що складаються і оснащення надходять на транспортні системи ГАЛ-1, ГАЛ-2 і т.д. З транспортних систем ліній і комплекти що складаються і оснащення можуть передаватися будь-які комірки складання і повертатися назад за допомогою міжопераційних систем транспортування.

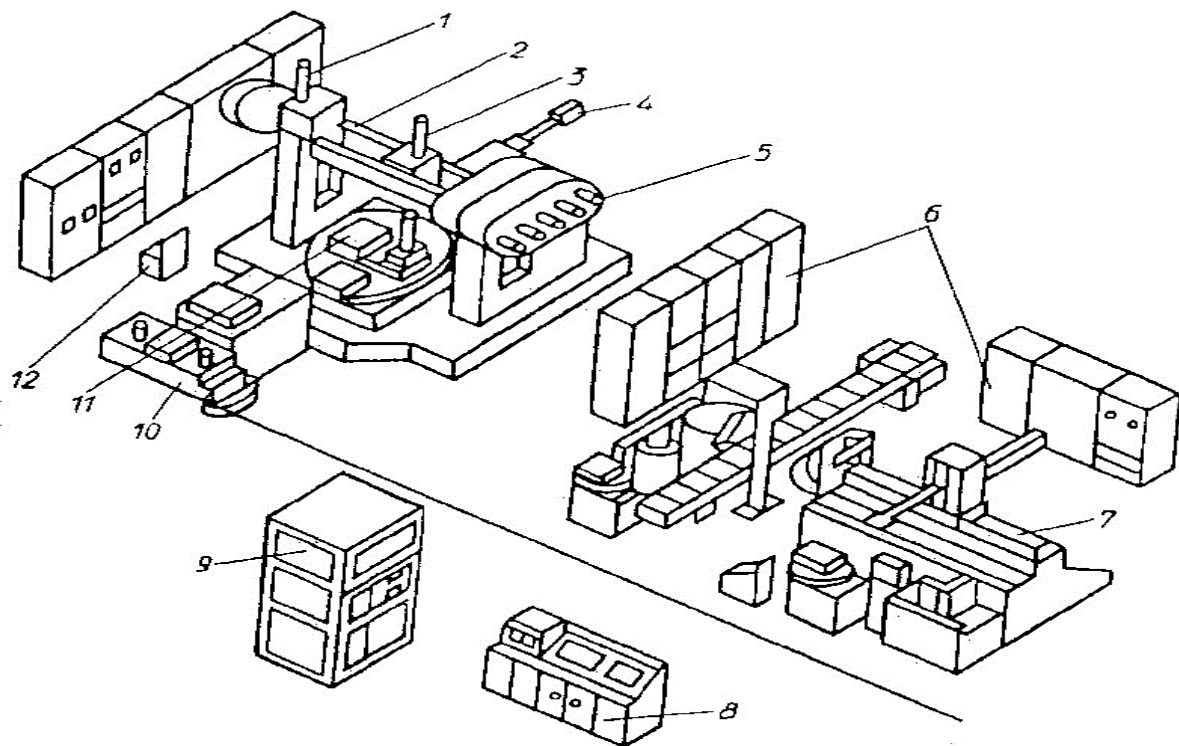


Рис. 4.82. Гнучка складальна діляниця:

1, 3, 4 – вертикально і горизонтально розміщені роботи, 2 – гнучка складальна машина, 5 – інструментальний магазин, 6 – стояки, 7 - склад покупних виробів, 8 – головний пульт керування і монітор, 9 – склад касет, 10 – автоматичний транспортний візок, 11 – поворотний стіл складальної машини, 12 – касети

При цьому зібраний (складений) об'єкт (вузол, виріб) після проходження всіх або частини складальних центрів (СЦ) лінії ГАЛс-1 може бути переданий за допомогою наступних систем: міжопераційної системи транспортування на ГАЛс-2 для проходження складання, а потім на ГАЛс-3 і т.д.; внутрішньої системи транспортування на будь-який ГАДс і лінію ГАЛс-1 системи; транспортування на будь-яку ділянку або лінію ГАЦс-2 або ГАЦс-3 або в інше спеціалізоване виробництво.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні переваги та недоліки верстатів з ЧПК?
2. Яка система координат покладена в основу керування верстатів з ЧПК?
3. Які блоки включає в себе типова блок-схема програмного управління верстатом з ЧПК?
4. Яка послідовність підготовки програми для верстатів з ЧПК?
5. В чому сутність коду ISO для програмування на верстатах з ЧПК?
6. Які основні напрямки розвитку верстатів з ЧПК?
7. Які токарні верстати з ЧПК користуються найбільшим попитом?
8. Які особливості верстатів з ЧПК сверлильної групи?
9. Які особливості розточувальних верстатів з ЧПК?
10. Які технологічні можливості характерні фрезерним верстатам з ЧПК?
11. Яке призначення обробляючих центрів, їх переваги та технологічні можливості?
12. Які конструктивні особливості обробляючих центрів?
13. Які пристрої і механізми для заміни інструментів застосовують в ОЦ?
14. У чому сутність гнучкого автоматизованого виробництва?

5. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

5.1. Електроерозійна обробка металів

В основу електроерозійної обробки (ЕЕО) металів покладено явище електричної ерозії, тобто руйнування матеріалу під дією електричних розрядів.

На рис. 5.1, а показана принципова схема ЕЕО. У ванні 5 з діелектричною рідиною розміщений електрод-інструмент 3 та оброблювана заготовка 4. В якості генератора імпульсів використана батарея конденсаторів 2, а час заряджання конденсатора регулюється реостатом 1. При наближенні електрода до заготовки між ними зростає напруга і в певний момент виникає електричний розряд, під дією якого проходить руйнування частини заготовки. ЕЕО застосовують для прошивання глухих та наскрізних отворів, обробки зовнішніх поверхонь різного профілю, шліфування, прорізування пазів, відрізування тощо.

На рис. 5.1, б показана схема прошивання, а на рис. 5.1, в – схема обробки зовнішніх поверхонь. Електрод 1 поступово наближається до заготовки 2 з швидкістю V_i . І електрод і заготовка розміщені у ванні 3 з діелектриком 4. Газоподібні продукти обробки 5 видаляються витяжною вентиляцією, а тверді – осідають на дно ванни.

На рис. 5.1, г показана схема електроерозійного шліфування металевим диском 1, який обертається і подається до заготовки 2.

На рис. 5.1, д показана схема розрізування заготовки профільованим інструментом 1 (диск, пластина), а на рис. 5.1, е – схема розрізування або вирізування непрофільним інструментом (дротом), який переміщується з швидкістю V і подається в напрямі до заготовки 2 з швидкістю V_i .

Розрізняють електроіскрову та електроімпульсну ЕЕО.

Електроерозійна обробка, при якій використовують *електроіскровий режим*, звичайно виконується при прямій полярності вмикання електродів. ЕЕО в електроіскровому режимі проходить при відносно малій енергії імпульсів. Об'єм металу, який видаляється за кожен імпульс, невеликий, а глибина лунки незначна. Такий режим дозволяє отримувати поверхні з високою точністю і низькою шорсткістю, але при невисокій продуктивності. Крім того, процес потребує великих затрат енергії. Енергоємність при обробці в електроіскровому режимі на порядок вища у порівнянні з аналогічною механічною обробкою. Також великий знос профільного інструмента. Тобто, обробка при електроіскровому режимі доцільна при виготовленні точних і невеликих деталей. Ефективність обробки суттєво підвищується, якщо деталь має складну форму, а матеріал трудно оброблюється механічними способами.

При електроімпульсному режимі ЕЕО обробку виконують не тільки на коротких іскрових розрядах, але і на іскро-дугових і дугових розрядах, які триваліші за часом. Обробку металів в електроімпульсному режимі виконують при протилежному вмиканні електродів. Обробка в цьому режимі характеризується великою енергією розряду, що приводить до підвищення висоти нерівностей на заготовці. Завдяки підвищенню енергії розряду, продуктивність обробки зростає в 15–20 разів, у порівнянні з аналогічною електроіскровою обробкою, і досягає при обробці сталі величини до 250 мм³/с, а твердих сплавів – 3–5 мм³/с. Ураховуючи малий знос електрода-інструмента і задовільну енергоємність, яка не перевищує аналогічного показника при фрезеруванні, обробкою при електроімпульсному режимі можна замінювати фрезерування великих порожнин складної форми, заглибин, каналів, де механічною обробкою не вдається забезпечити високу продуктивність, або утруднений доступ інструмента в зону різання.

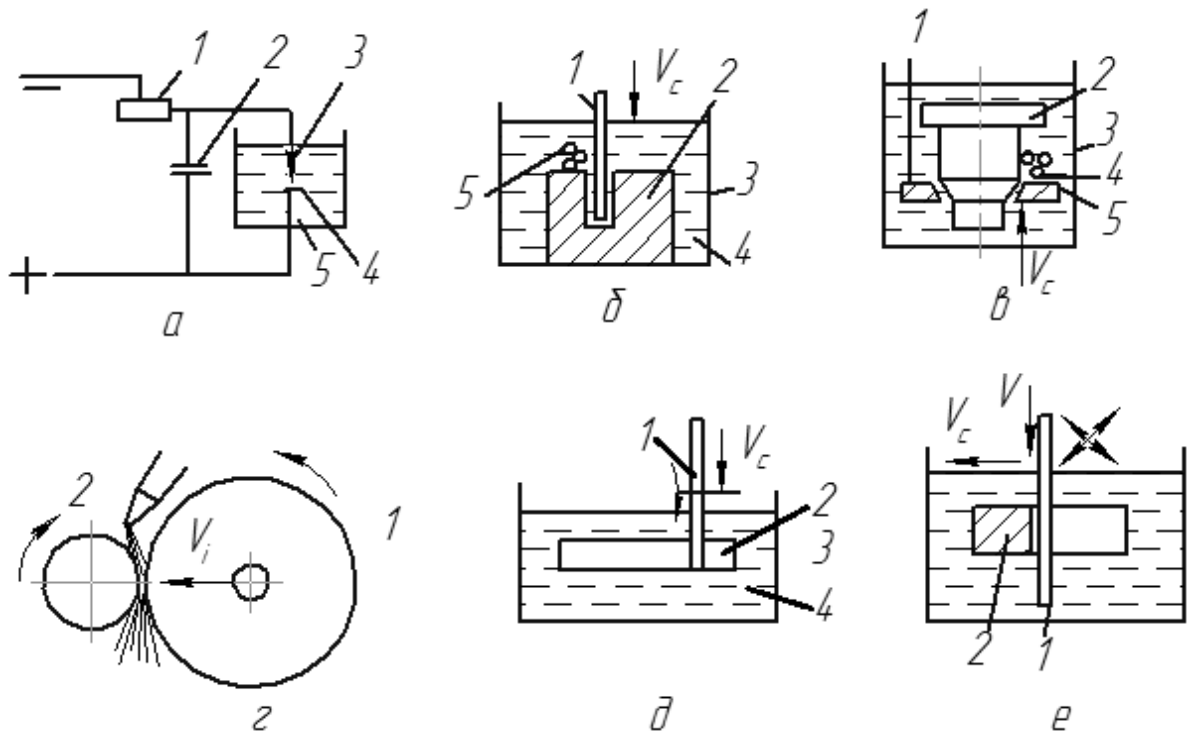


Рис. 5.1. Схеми електроерозійної обробки металів

Для підтримування процесу ЕЕО необхідно постійно зближувати електроди, що на сучасних верстатах виконується автоматично. При розрізуванні заготовок дротом, диском або стрічкою, середня сила струму 10–100 А. Для чорнових операцій застосовують імпульси з енергією 1 Дж, для чистових – від 0,1 до 1 Дж, для завершальних – менше 0,1 Дж.

Електроерозійну обробку виконують у рідині, рідше – на повітрі.

Електроімпульсне розрізання в рідині дозволяє отримувати продуктивність процесу до 400–450 мм³/с, що значно вище ніж при механічній обробці заготовок. Але чистота поверхонь і точність обробки при цьому невисокі. Спосіб економічний – розхід енергії в 6–10 разів менший ніж при електроіскровому режимі. Значний знос електрода-інструмента. Застосовують для отримання заготовок з важкооброблюваних матеріалів.

Електроконтактний спосіб у повітряному середовищі забезпечує продуктивність до 900–1000 мм³/с, що в декілька разів перевищує продуктивність інших способів розрізування і обдирної обробки спеціальних сплавів. Процес відрізняється низькою енергоємністю, яка не перевищує 1–2 кВтг/кг, що в 3–5 разів менше, ніж при обробці в рідині. Але показники шорсткості і точності поверхонь уступають іншим способам ЕЕО. Застосовують для високопродуктивної чорнової обробки великогабаритних заготовок, переважно, в металургійній промисловості.

При обробці непрофільованим інструментом (дротом), під продуктивністю розуміють відношення площі бокової поверхні паза до часу обробки. Зі збільшенням площі оброблюваної поверхні, продуктивність обробки спочатку зростає, а після падає. Кількість продуктів обробки також залежить від енергії імпульсів, їх числа і часу дії, тобто від потужності. При обробці дротом Ø 0,1–0,15 мм, коли умови для видалення продуктів обробки несприятливі, найбільше на продуктивність обробки впливає товщина заготовки. Якщо товщина заготовки більша ніж 25–30 мм, то у даному випадку швидкість різання знижується. Для заготовок товщиною більшою 30 мм необхідно приймати діаметр дроту не меншим 0,2–0,25 мм.

При прошиванні, з заглибленням отвору, погіршуються умови для видалення продуктів обробки, тому застосовують примусову подачу рідини крізь міжелектродний зазор під тиском 100–200 кПа. Робоче середовище при роботі з малою енергією – дистильована вода, гас; при високих режимах застосовують важкі фракції нафти – масла, дизельне паливо та ін. з високою температурою спалахнення.

Оброблюваність також залежить від марки оброблюваного матеріалу. Якщо оброблюваність сталі 45 прийняти за 1, то оброблюваність вольфраму становить 0,7, молібдену – 0,8, алюмінію – 1,5, магнію – 2,5. Оброблюваність чавуну низька через включення вільного графіту. Жароміцні сплави, завдяки низькій теплопровідності, краще оброблюються, ніж сталь 45. Швидкість електроконтактного розрізування металів у повітряному середовищі сягає 2–3 мм/с, що в 5–10 разів вище ніж при механічній обробці.

Щодо точності обробки, то вона суттєво залежить від величини зазору між електродом і заготовкою. При обробці сталей цей зазор змінюється в досить великих межах – 6–18 мкм, а уклон, внаслідок зносу дроту, сягає 1–2°. При прошиванні сталі мідним або латунним електродом, його знос сягає 30–95 % від об'єму знятого з заготовки металу, але для мідно-графітових електродів – 0,1–4 %.

На сучасному рівні розвитку ЕЕО точність виготовлення деталей при електроіскровому режимі профільним електродом-інструментом дорівнює 6–7-го квалітету, а непрофільним (дротом) – 5–6-го квалітету. У випадку застосування електроімпульсного режиму, точність обробки буде відповідати 9–11-му квалітету; при електроконтактній обробці в рідкому середовищі (шліфування) – 7–8-му квалітету; при обробці на повітрі відповідно – 16–17-му квалітету.

Щодо якості обробленої поверхні, то в результаті ЕЕО поверхня набуває характерних нерівностей, а в приповерхневому шарі проходять фізико-хімічні зміни. Шорсткість поверхні, після обробки в електроіскровому режимі твердих сплавів – R_a 0,2–0,3 мкм; після обробки сталей – R_a 0,3–0,6 мкм. При обробці в електроімпульсному режимі шорсткість R_z 20–40 мкм; при шліфуванні в рідині – R_a 0,5–0,8 мкм; при розрізуванні – R_z 80–200 мкм; при електроконтактному обдирному шліфуванні і розрізуванні на повітрі – R_z 150–400 мкм.

Стан поверхневого шару визначає зносостійкість, міцність та інші властивості деталі. Після ЕЕО поверхневий шар набуває властивостей, які по різному впливають на експлуатаційні показники деталей. Позитивним є підвищення твердості поверхні при зберіганні в'язкості серцевини, велика кількість дрібних лунок на поверхні, плавне їх спряження. До недоліків необхідно віднести можливість появи тріщин, розтягуючих напруг, труднощі отримання поверхонь з низькою шорсткістю.

Електроерозійну обробку застосовують для прошивання заглибин і отворів різної форми профільним інструментом в електроіскровому, або електроімпульсному режимі; для розрізування профільним інструментом в електроіскровому режимі (прорізування щілин, пазів та інших елементів складної форми); для розрізування заготовок з вольфраму; для електроерозійного зміцнення і легування (за продуктивністю уступає плазмовому напиленню); для шліфування в рідкому середовищі (при обробці заготовок з крихких та в'язких матеріалів) тощо.

Особливо широко розповсюджена ЕЕО непрофільованим інструментом – дротом. Сучасні верстати для ЕЕО оснащуються 5-ти координатними системами ЧПК і можуть, при наскрізному переміщенні дроту, оброблювати надзвичайно складні поверхні, які можна описати прямою твірною.

Наприклад, верстати фірми Sodick (Японія), які оснащені надвисокомоментними, високоточними лінійними двигунами і працюють з діаметром дроту в межах 0,05–0,3 мм, забезпечують максимальну швидкість подачі дроту – до 420 мм/с, максимальну швидкість подачі стола в горизонтальній площині – до 1500 мм/хв. Лінійні приводи здатні коректувати зазор між дротом і оброблюваною заготовкою до 500 разів за секунду з дискретністю подач 0,1 мкм. Точність позиціонування робочих органів верстата – $\pm 2,0$ мкм, дискретність подач – до 0,01 мкм. Обробку виконують у термоконстантних приміщеннях при температурі 20 ± 1 °С. Досяжна точність обробки в даному випадку сягає $\pm 2,5$ мкм. За чотири переходи шорсткість обробленої поверхні R_a 0,2 мкм, при цьому досяжна шорсткість R_a 0,05 мкм.

5.2. Розмірна електрохімічна обробка

Під розмірною електрохімічною обробкою (ЕХО) розуміють процес отримання з заготовки деталі заданої форми та розмірів шляхом анодного розчинення металу. ЕХО виконують на спеціальних верстатах. Застосовують декілька основних схем ЕХО.

Обробка з нерухомим електродом (рис. 5.2, а). При цьому електрод-інструмент не переміщується до оброблюваної поверхні 2. В міру знімання металу з заготовки 2 зазор між оброблюваною поверхнею і електродом 1 зростає, а швидкість V_e прокачування електроліту зменшується. Тобто, процес обробки буде нестабільним у часі, що ускладнює регулювання і керування процесом. Застосовують для обробки плоских та циліндричних поверхонь, отворів, заглибин, пазів тощо. Необхідна форма заглибини або отвору забезпечується нанесенням на електроди шару діелектрика 3.

Прошивання заглибин, порожнин, отворів (рис. 5.2, б). За цією схемою електрод-інструмент 1 має вертикальну подачу зі швидкістю V_i до заготовки 2. Режим обробки стаціонарний завдяки автоматичному регулюванню зазору S .

Точіння зовнішніх і внутрішніх поверхонь (рис. 5.2, в). При цьому електрод-інструмент 1 виконує функцію різця, але він не контактує з заготовкою, а через постійно регульований зазор S прокачують електроліт.

Розрізування заготовок (рис. 5.2, г). За цією схемою електрод-диск 1, який обертається, має подачу зі швидкістю V_i при автоматичному витримуванні зазору S між електродом і заготовкою 2, через який прокачується електроліт зі швидкістю V_e .

Шліфування заготовок (рис. 5.2, д). В цьому випадку металевий електрод-диск 1 обертається і має подачу зі швидкістю V_i відносно оброблюваної поверхні 2.

В основі ЕХО лежить явище анодного розчинення металів, тобто, коли видалення металу з оброблюваної поверхні проходить під дією електричного струму в середовищі електроліту без безпосереднього контакту між інструментом і заготовкою. Продукти обробки виносяться потоком електроліту. В якості електроліту найчастіше застосовують нейтральні розчини неорганічних солей: хлориди, нітриди і сульфати натрію та калію. Позитивним є те, що катод, який служить інструментом, не зношується. Найчастіше напруга між електродами та заготовкою складає 9–18 В для різних схем обробки (для титанових сплавів $U = 25\text{--}30\text{ В}$, при розрізуванні – 25–30 В, при шліфуванні – 6–8 В).

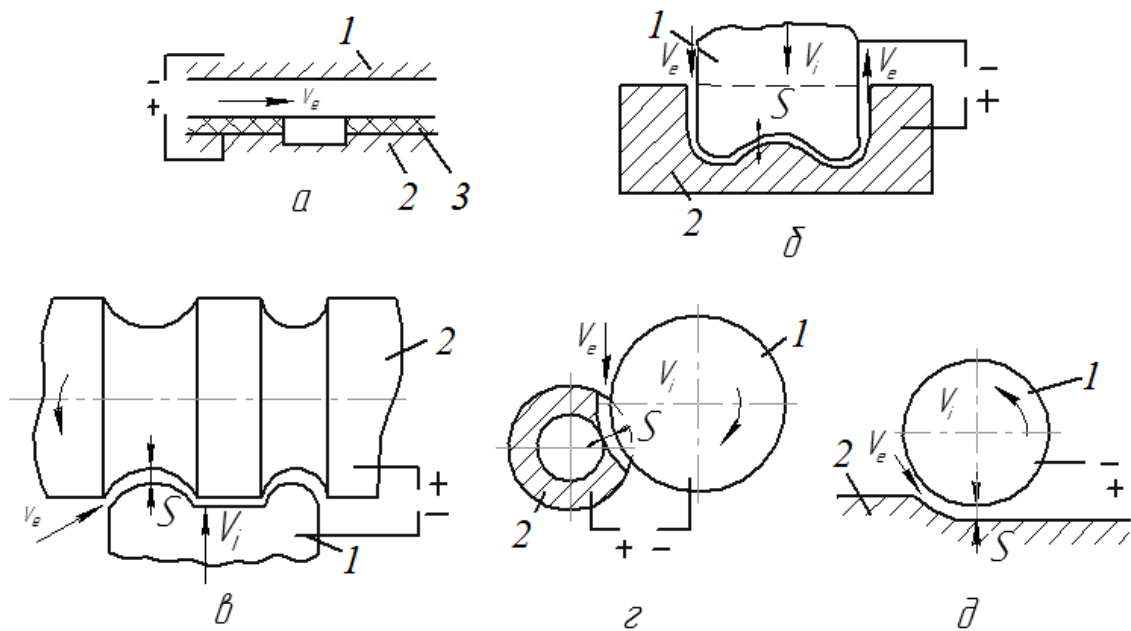


Рис. 5.2. Схеми електрохімічної обробки

Крім ЕХО з постійною напругою, застосовують обробку, коли напругу подають у міжелектродний проміжок окремими імпульсами.

Швидкість анодного розчинення металу і точність обробки зростають зі зменшенням міжелектродного зазору, але при цьому ускладнюється процес регулювання величини зазору, погіршується прокачування електроліту, може виникнути пробій. Переважно, величина зазору знаходиться в межах $S = 0,1\text{--}0,3$ (до 0,5) мм.

У залежності від схеми та умов ЕХО, припуск на обробку складає 0,1–0,5 мм. Точність ЕХО залежить від точності електрода-інструмента, умов обробки та дотримування оптимальних режимів. Наприклад, при обробці нерухомими електродами, похибка обробки складає 0,02–0,05 мм; при прошиванні невеликих отворів ($\varnothing \leq 2\text{ мм}$), точність відповідає 9–10-му

квалітету; при точінні, – 8–10-му квалітету; при шліфуванні різними кругами, – 6–7-му квалітету.

Мікрорельєф поверхні при ЕХО залежить від матеріалу заготовки, від складу, температури і швидкості прокачування електроліту, електричних параметрів тощо. При обробці в електролітах на базі хлориду натрію шорсткість поверхонь конструкційних сталей – R_a 0,32–0,10 мкм, нержавіючих сталей і сплавів дорівнює – R_a 1,25–0,32 мкм, титанових сплавів – R_a 2,5–1,25 мкм, алюмінієвих сплавів – R_a 2,5–0,63 мкм.

Після ЕХО в поверхневому шарі спостерігається пониження вмісту вуглецю та зміна твердості, відсутній наклеп. Внаслідок розтравлювання підвищуються напруги в поверхневому шарі. Крім того, може спостерігатися насичення воднем поверхневого шару (особливо у титанових сплавів, але сталі, нікелеві та алюмінієві сплави не насичуються воднем), що підвищує крихкість і знижує міцність втомлення.

Мікророзтравлювання оброблених поверхонь на границях зерен, що є концентратором напруг, і насичення воднем приводять до зниження механічних властивостей сплавів. Для зразків з конструкційних сталей, після ЕХО, границя міцності при статичних і ударних навантаженнях при розтягуванні, стисканні, згинанні та крученні такі ж, як і після механічної обробки. Але для сплавів, схильних до міжкристалічного розтравлювання (нікелеві, титанові та ін.), ці показники знижуються на 10–15 %. Після ЕХО деталі з конструкційних сталей та алюмінієвих сплавів мають границю міцності втомлення таку ж, як і шліфовані зразки, але деталі з нікелевих, титанових та інших сплавів, у яких може бути розтравлювання поверхневого шару, мають пониженої міцність втомлення. Підвищити міцність втомлення можна додатковою обробкою поліруванням, віброударним або дробострумінним способом, обкатуванням тощо.

Щодо продуктивності обробки, то, в залежності від припуску і початкового міжелектродного зазору, середня швидкість розчинення в напрямі, перпендикулярному до обробленої поверхні знаходиться в межах $V_{cp} = 0,001–0,01$ мм/с.

При ЕХО немає розділення на чорнові і чистові операції – при будь-якому режимі висота мікронерівностей відповідає чистовим операціям механічної обробки і, при зростанні швидкості знімання металу, шорсткість поверхонь знижується, а при зростанні твердості оброблюваного матеріалу, технологічні показники ЕХО зростають.

Розмірну ЕХО доцільно застосовувати при обробці складних за формою поверхонь штампів, прес-форм, турбінних лопаток та інших деталей, зніманні задирок тощо. Поверхні перед ЕХО повинні бути очищеними від окалини та інших не електропровідних речовин. ЕХО виконують після термічної обробки заготовок і не передбачають додаткові

операції для зачищення задирок, закруглення кромek з малими радіусами. Після ЕХО, для видалення залишків солей та уникнення корозії, деталі спочатку протягом 8–15 хв промивають у проточній воді при температурі 60–80 °С, а після, протягом 0,5–1 хв, пасивують у слабкому розчині каустичної соди при температурі ~ 60 °С.

5.3. Ультразвукова обробка матеріалів

Ультразвукові коливання – це пружні хвилі, які розповсюджуються в матеріальних середовищах (твердих тілах, рідинах і газах). За частотою ці коливання розповсюджуються від верхньої границі діапазону звуків, які можна почути ($\sim 16 \cdot 10^3$ Гц), до частоти 10^8 Гц. Ультразвукові коливання застосовують у різних галузях, у тому числі і для розмірної ультразвукової обробки (УЗО) в машинобудуванні. УЗО доцільно застосовувати для обробки твердих та крихких матеріалів (скло, кераміка, ситали, кремній, германій, тверді сплави тощо). Найчастіше УЗО виконують на спеціальних верстатах для отримання площин, заглибин, пазів, наскрізних отворів, розрізування заготовок. Суть обробки зводиться до пропускання абразивної суспензії між інструментом, якому надаються ультразвукові коливання (УЗК), і оброблюваною заготовкою. При цьому інструмент в процесі вібрацій натискає на зерна абразиву, які виривають з оброблюваної поверхні частинки матеріалу, що виносяться з зони обробки суспензією. Процес зносу інструменту в цьому випадку істотно зменшується.

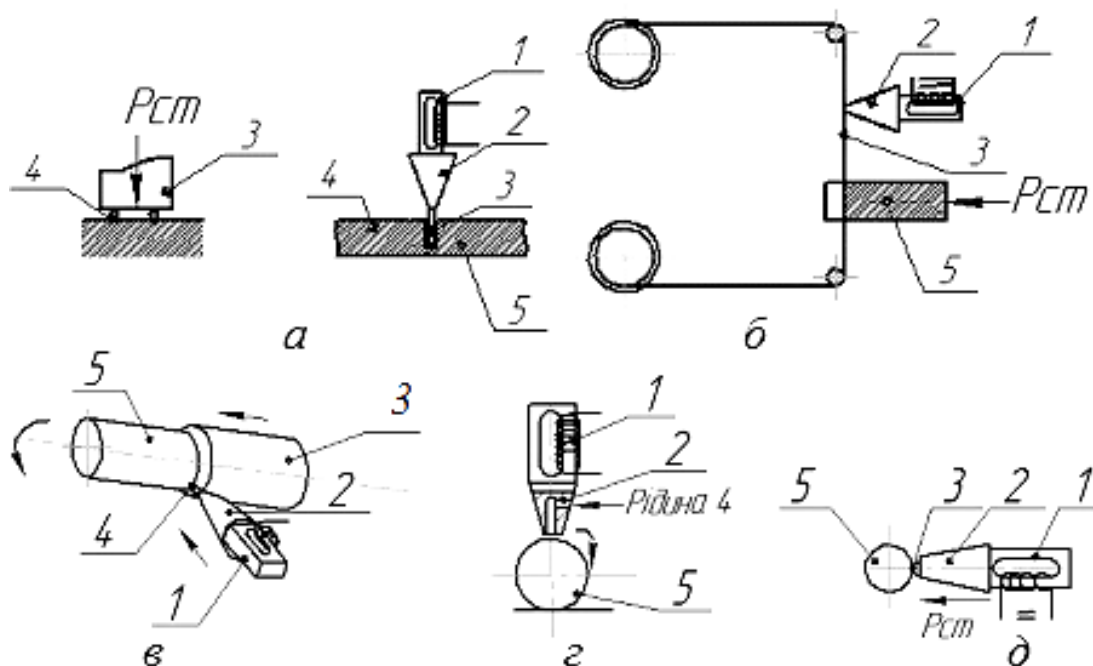


Рис. 5.3. Схеми розмірної ультразвукової обробки заготовок

На рис. 5.3, а показана схема прошивання отворів. Ультразвуковий інструмент 3 з'єднаний з концентратором 2, який припаяний до ультразвукового перетворювача 1. Інструмент наносить періодичні удари по зернах абразивної суспензії 4, яка заповняє зазор між інструментом і оброблюваною заготовкою 5. Інструмент має поздовжню подачу і притискається до заготовки з зусиллям $P_{ст}$.

На рис. 5.3, б показана схема УЗО за допомогою непрофільованого інструмента (дроту), який весь час перемотується. За такою схемою розрізають заготовки, прорізають наскрізні пази та щілини різної форми.

На рис. 5.3, в показана схема інтенсифікації процесів різання при наданні інструментові УЗК. Спосіб застосовують при точінні, свердлінні, зенкеруванні заготовок з важкооброблюваних та в'язких матеріалів.

На рис. 5.3, г показана схема очищення і змащування поверхні шліфувального круга, а на рис. 5.3, д – схема ультразвукового зміцнення індентором 3, внаслідок чого підвищується мікротвердість обробленої поверхні.

УЗО також застосовують для знімання задирок вільним абразивом, очищення заготовок і деталей тощо.

При ультразвуковій обробці на деталі копіюється форма інструмента. Процес УЗО залежить від оброблюваного матеріалу, твердості і концентрації абразиву, величини зерен, частоти та амплітуди коливань інструмента, його зносу, статичного навантаження.

Усі матеріали за характером деформації та руйнування при УЗО розділяють на три групи, в основу яких покладено значення критерію крихкості t_x (критерій крихкості – це відношення опору зсуву до опору на відривання). До першої групи крихких матеріалів з $t_x \geq 2$ відносять скло, кварц, кремній, кераміку, ситал, германій та ін., які при УЗО не піддаються пластичній деформації і оброблюються найкраще. До другої групи відносять матеріали, в яких $1 < t_x < 2$ (тверді сплави, загартовані, цементовані та азотовані сталі, титан, вольфрам), які оброблюються дещо гірше тому, що при УЗО одночасно з пружними деформаціями мають місце мікропластичні деформації. При обробці пластичних матеріалів, для яких $t_x \leq 1$, застосовувати УЗО недоцільно.

Як абразив при УЗО найчастіше застосовують карбід бору B_4C , який твердий, добре змочується і переноситься водою. У процесі обробки абразивні зерна інтенсивно роздроблюються, тому продуктивність УЗО на початку обробки може бути в три рази більшою, ніж у кінці. Але зі зменшенням зерен абразиву, зростає точність обробки. Найкращі результати отримують при відносно невеликій концентрації абразиву в суспензії, коли по всій оброблюваній поверхні розміщується один шар зерен абразиву.

Амплітуда і частота коливань інструмента визначають швидкість головного руху різання. Зі зростанням амплітуди і частоти коливань продуктивність УЗО збільшується. Оптимальна амплітуда коливань інструмента ξ_m зв'язана з середнім розміром d_a абразивного зерна. Максимальна продуктивність забезпечується при умові $2 \xi_m / d_a = 0,6-0,8$.

При УЗО інструмент притискається до заготовки з постійною силою подачі $P_{ст}$. Оптимальна величина статичного навантаження залежить від площі і конфігурації інструмента, амплітуди коливань, властивостей оброблюваного матеріалу і середніх розмірів зерен абразиву.

Точність УЗО, тобто стабільність зазору між інструментом і контурами виробу, залежить від великої кількості факторів. При оптимальних умовах чистової обробки, некруглість отворів не перевищує 10 мкм, але при несприятливих умовах, похибки форми можуть досягати 30–60 мкм. При наскрізному прошиванні, свердлінні і розрізуванні застосовують інструменти, як складаються з двох частин: чорнової та чистової. При ультразвуковій розмірній обробці досягається похибка виготовлення 20 мкм.

Шорсткість поверхні при УЗО залежить від розмірів зерен абразиву, властивостей оброблюваного матеріалу, амплітуди коливань, шорсткості поверхонь інструмента тощо. Зі зростанням зернистості абразиву, крупнозернистої структури оброблюваного матеріалу і амплітуди коливань, шорсткість оброблених поверхонь зростає.

При УЗО дрібним порошком (№ 3) і мікропорошками, при амплітуді коливань $\xi_m = 15-20$ мкм, шорсткість поверхні R_a 1,2–0,4 мкм, а при доводці R_a 0,2 мкм.

Продуктивність УЗО залежить від амплітуди коливань інструмента, фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, величини зерен і властивостей абразивної суспензії, сили подачі $P_{ст}$, площі поперечного перерізу інструмента тощо. Зі зростанням амплітуди коливань інструмента, величини зерен і твердості абразиву, концентрації абразиву в суспензії і сили подачі, продуктивність обробки, як правило, зростає. Оптимальна концентрація суспензії забезпечується при масовому відношенні карбіду бору до води 1:1–1:2. Оптимальна сила подачі залежить від питомого тиску притискання $p_{пр} = P_{ст} / S$, де S – площа торця інструмента, складає 0,1-1 МПа (сила притискання інструмента в декілька разів менша від максимальних значень імпульсних сил).

Розмірну УЗО доцільно застосовувати для обробки крихких матеріалів, для яких $t_x > 1$. Тому, що матеріали першої та другої груп (за крихкістю) оброблюються по різному, то в кожній групі вибрали один типовий матеріал: для матеріалів першої групи ($t_x \geq 2$) – скло; для матеріалів другої групи ($1 < t_x < 2$) – твердий сплав ВК8.

Продуктивність обробки скла, тобто швидкість знімання об'єму металу, в даному випадку складає 3000-5000 мм³/хв, тобто в 20–50 разів вища ніж продуктивність обробки твердого сплаву.

При УЗО необхідно ретельно виконувати правила охорони праці та навколишнього середовища.

5.4. Електронно-променева обробка матеріалів

Електронно-променеву обробку (ЕПО) матеріалів виконують за допомогою електронних гармат (рис. 5.4). Джерелом електронів у електронних гарматах служить термоемісійний катод 1 з вольфраму або танталу, які мають високі емісійні характеристики. У залежності від матеріалу катода, його підігрівають до температури 1330–2530 °С. На деякій відстані від катода знаходиться масивний анод 2 з отвором. Між катодом і анодом, за допомогою високовольтного джерела 8, прикладається прискорююча напруга 30–150 кВ; у результаті електрони набувають великих швидкостей і більша їх частина проходить через отвір в аноді 2.

Система діафрагм та магнітних лінз 3 призначена для фокусування потоку електронів, що дозволяє досягнути дуже високої щільності енергії до $5 \cdot 10^{12}$ Вт/м², величину якої можна плавно змінювати за допомогою фокусування. Для переміщення електронного променя по поверхні заготовки, призначена відхиляюча система 4.

Електронна гармата і оброблювана заготовка 6 розміщені в ізолюваній камері 5, в якій за допомогою системи насосів 7 створюється високий вакуум (не вище 10^{-3} – 10^{-4} Па). Продуктивність ЕПО відносно низька.

При прискорюючій напрузі $U = 20$ кВ і питомій поверхневій потужності $P_0 = 10^{10}$ Вт/м² за час $\tau = 10^{-5}$ – 10^{-6} с в поверхневих шарах різних матеріалів розвиваються такі температури (в дужках указана температура кипіння), °С [7]:

- | | |
|-------------------------|------|
| 1. алюміній (2320)..... | 4150 |
| 2. кремній (2500)..... | 6000 |
| 3. титан (3500)..... | 5040 |
| 4. нікель (3000)..... | 6840 |

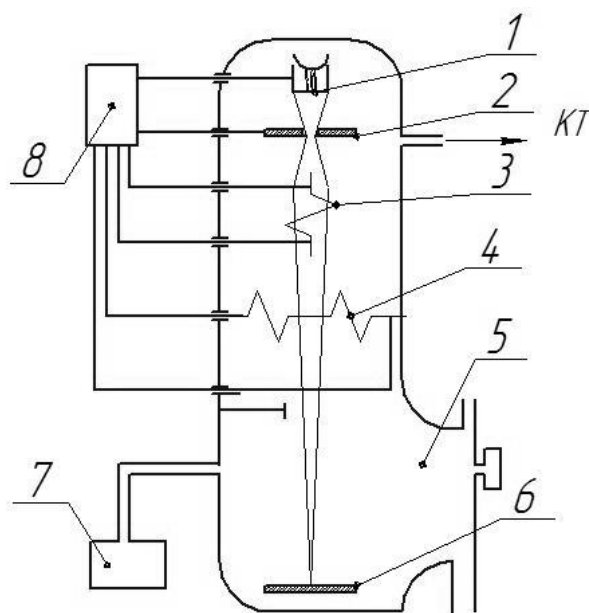


Рис. 5.4. Схема електронної гармати

5. нержавіюча сталь (3050)....5100
6. вольфрам (5400).....15600.

В основу розмірної електронно-променевої обробки покладено знімання металу з оброблюваної поверхні завдяки його випаровуванню та вибуховому закипанню. У зоні розмірної обробки електронним променем у заготовці отримують глухі та наскрізні отвори, заданий контур тощо. Електронний промінь є постійно діючим джерелом тепла, тому при утворенні на заготовці вирізованого контуру погіршується точність його розмірів через оплавлення країв. Забезпечити точне дозування енергії електронного променя можна шляхом імпульсної дії або переміщенням променя по поверхні з певною швидкістю.

Таким чином, розрізняють три режими розмірної ЕПО:

- *моно-імпульсний*, коли отвір отримують за час дії тільки одного імпульсу;
- *багато-імпульсний*, коли отвір отримують за допомогою декількох імпульсів;
- *обробка з переміщенням променя* по заготовці з заданою швидкістю.

Параметри ЕПО зв'язані з властивостями матеріалу заготовки (температура плавлення, теплоємність, питома теплота випаровування, пружність пари) і не залежать від його механічних властивостей (міцність, твердість, пластичність). Тому ЕПО, переважно, застосовують для обробки твердих матеріалів: алмазів, кварцу, кераміки, кристалів кремнію і германію.

На практиці ЕПО виконують на глибину до 15–20 мм. Оброблені отвори на вході мають округлені кромки і пряму конусність до 1°. Зфокусований електронний промінь може мати діаметр до 1 мкм, а ширина паза при ЕПО може сягати 5–10 мкм, можна отримувати отвори такого ж діаметра.

Незважаючи на широкі технологічні можливості електронного променя як джерела енергії, ЕПО для розмірної обробки застосовують рідко. Це зв'язано з:

- високою вартістю електронного обладнання;
- високою кваліфікацією персоналу;
- трудністю забезпечення високого вакууму;
- обмеженими габаритами оброблюваних заготовок;
- низькою продуктивністю;
- складністю забезпечення безпеки праці.

Крім того, застосування лазерів дозволяє вирішувати аналогічні технологічні завдання не у вакуумі, а в атмосфері.

5.5. Світло-променева обробка матеріалів

В основу світло-променевої обробки (СПО) матеріалів покладена можливість концентрації потужних потоків світла видимого спектра на обмежених ділянках оброблюваної заготовки. Найкращі результати отримують за допомогою когерентного (монохроматичного) світла, тобто світлової хвилі строго визначеної довжини. Для продукування таких світлових хвиль розроблені оптичні квантові генератори (ОКГ), тобто лазери. За щільністю потоку енергії (до 10^{13} Вт/м²), за можливостями керування лазерним променем і реалізації процесу в різних середовищах, лазери поки що недосяжні.

Застосовують ОКГ твердотільні, газові, напівпровідникові та рідинні. На рис. 5.5 наведена схема *твердотільного* лазера.

Стержень 2, який виготовлений з робочої речовини (синтетичний рубін, ітрієво-алюмінієвий гранат, неодимове скло), розміщений між двома дзеркалами 1 та 3. Дзеркало 1 повністю відбиває усі промені, а дзеркало 3 виконане напівпрозорим.

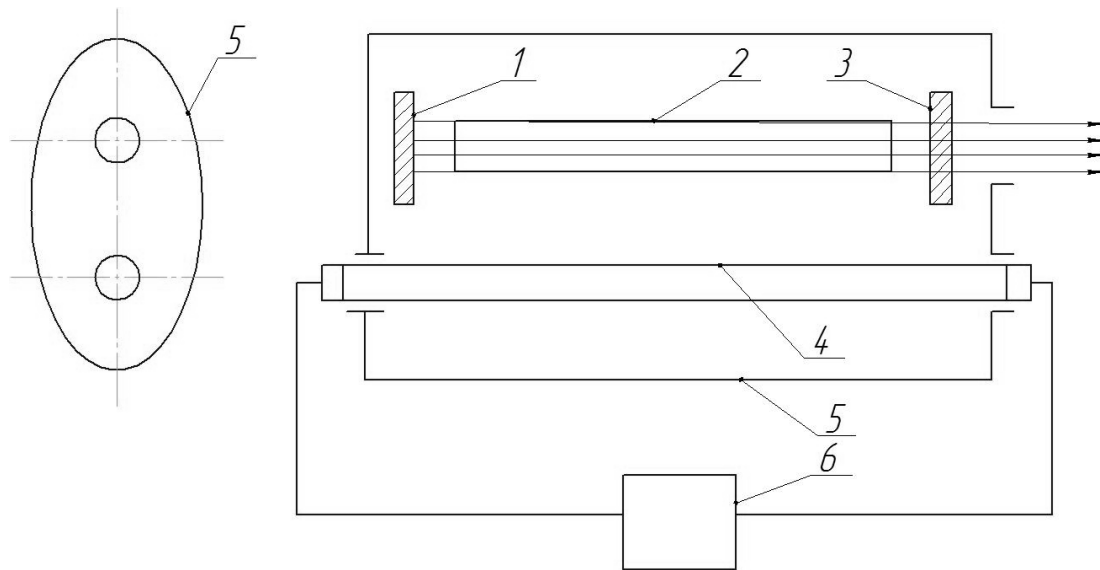


Рис. 5.5. Схема твердотільного лазера (ОКГ)

Для накачування енергії використовується лампа-спалах 4, яка для більшої ефективності процесу розміщена у відбиваючому кожусі 5, що направляє потік світла на робоче тіло 2. Лампа-спалах живиться від високовольтної батареї конденсаторів 6. Згенерований потік світла через напівпрозоре дзеркало 3 направляється на фокусуючу систему лінз і далі на оброблювану заготовку. Коефіцієнт використання світлової енергії лампи-спалаху складає 10–15 %, тому вони повинні бути дуже потужними.

У більшості твердотільних ОКГ передбачають охолодження повітрям, водою або рідким азотом.

У газових ОКГ в якості робочого тіла застосовують аргон, неон, ксенон, вуглекислий газ та їх суміші. Лазери на основі CO_2 мають досить високий ККД (8–30 %), їх потужність – 50 кВт і більша.

Світло-променеву обробку застосовують для нагрівання, поверхневої термообробки, плавлення, зварювання металів та неметалів, маркування, різання і розмірної обробки.

Найширше лазерну обробку застосовують для розрізування матеріалів, прошивання отворів та пазів тощо. Продуктивність такої обробки, незважаючи на велику енергоємність, нижча ніж при аналогічній обробці різанням на МРВ.

Ефективність лазерного різання можна значно підвищити введенням у зону обробки газу, наприклад кисню. У цьому випадку кисень, завдяки реакції окислення, забезпечує виділення основної частини енергії, необхідної для різання; значно збільшує поглинаючу здатність матеріалу завдяки створенню на його поверхні оксидів; понижує поверхневий натяг розплавлених матеріалів; струмінь газу під тиском сприяє видаленню розплавлених оксидів з зони різання.

Максимальна товщина заготовок, які можна розрізувати ОКГ безперервної дії на CO_2 потужністю 5 кВт складає: для низьковуглецевої сталі – до 10 мм, легированих сталей – до 6 мм, нікелевих сплавів – до 5 мм, титанів – до 10 мм.

Швидкість різання матеріалів випромінюванням ОКГ залежить від потужності випромінювання, товщини і матеріалу заготовки, тиску та розряду газу. В основному, для різання застосовують газові ОКГ безперервного випромінювання потужністю до 1 кВт. У табл. 5.1 [7] наведені швидкості розрізання деяких матеріалів.

Прошивання отворів та каналів найчастіше виконується за допомогою імпульсних твердотільних ОКГ за один або декілька імпульсів. Лазерне прошивання, у порівнянні з механічною обробкою, має деякі переваги: можна обробити будь-які матеріали незалежно від їх твердості; можна отримати отвори малого діаметра ($\varnothing < 0,1$ мм) великої глибини; відсутність механічного контакту між інструментом і матеріалом; можна отримати отвори, розміщені під кутом до оброблюваної поверхні.

З табл. 5.2 [7] видно, що точність прошитих отворів невисока. Тому за допомогою ОКГ прошивають отвори діаметром 0,05–0,6 мм в заготовках з кераміки, металів, феритів, рубіну, при виготовленні фільтрів, годинникових каменів. При свердлінні отворів у рубіні продуктивність обробки, в перерахунку на один інструмент, у 100–1000 разів більша ніж при механічній обробці.

Таблиця 5.1

Швидкість розрізування деяких матеріалів за допомогою ОКГ

Матеріал	Товщина, мм	Потужність випромінювання, Вт	Швидкість різання, м/хв	Газ
Низьковуглецева сталь	0,5	250	3,6	кисень
	1,0	100	1,6	
	1,2	400	4,6	
	2,2	850	1,8	
Вуглецева сталь	3,0	400	1,7	кисень
Нержавіюча сталь	0,5	250	2,6	кисень
	1,0	100	0,94	
	2,5	400	1,27	
	9,0	850	0,36	
	4,7	2000	1,27	
Титан	0,5	850	3,24	кисень
	0,6	250	0,2	
	1,0	600	1,5	
Кераміка	6,5	850	0,6	кисень
Кварц	1,2	100	0,5	кисень

Сучасні верстати для лазерної обробки оснащені багато-координатними системами ЧПК. Наприклад, лазерний технологічний комплекс Zenit (Україна) забезпечує точність виготовленої деталі до 0,1 мм на довжині 300 мм; точність позиціонування робочих органів установки складає ± 20 мкм/м; похибка повторного позиціонування ± 10 мкм/м; максимальна швидкість холостих рухів РО уздовж усіх трьох осей дорівнює – 120 м/хв.

Таблиця 5.2

Обробка отворів у різних матеріалах за допомогою імпульсного ОКГ

Метал	Товщина, мм	Діаметр отвору, мм		Час імпульсу, мс	Енергія імпульсу, Дж
		вхідного	вихідного		
Нержавіюча сталь	0,9	0,5	0,25	2,35	5,9
Нікелева сталь	1,8	0,3	0,22	0,8	16,0
Вольфрам	0,5	0,2	0,15	2,0	3,3
Молібден	0,5	0,25	0,2	2,0	3,3
Тантал	1,6	0,3	0,1	2,42	8,0
Мідь	0,8	0,2	0,2	2,25	4,9
Магній	1,6	0,4	0,3	2,0	3,3

5.6. Плазмова обробка

Плазмою називають середовище, в якому частина молекул або атомів іонізована. У такому середовищі, поряд з нейтральними молекулами і атомами, знаходяться заряджені частинки – іони та електрони. Ці заряджені частинки забезпечують проходження електричного струму через газ і надають йому ряд цінних властивостей. Плазму найчастіше отримують при виконанні електрофізичних процесів – у електричному дуговому розряді, у високочастотному електричному полі, за допомогою лазерного випромінювання тощо. Високі значення температури, ентальпії та електропровідності дозволяють застосовувати плазму в різних галузях.

Плазма широко застосовується в процесах, коли необхідно забезпечити високотемпературне концентроване нагрівання (наприклад, у металургії, при зварюванні). У машинобудуванні широко застосовують плазмові різання різних металів, оксидів, карбідів і нітридів. Для цього застосовують низькотемпературну плазму з температурою (10^3 – 10^5) °С, яка представляє собою частково іонізований газ.

Для отримання плазми застосовують так звані плазмові пальники – плазмотрони. Найширше розповсюджені плазмотрони, в яких нагрівання газів до необхідної температури виконується за допомогою електричних дугових розрядів.

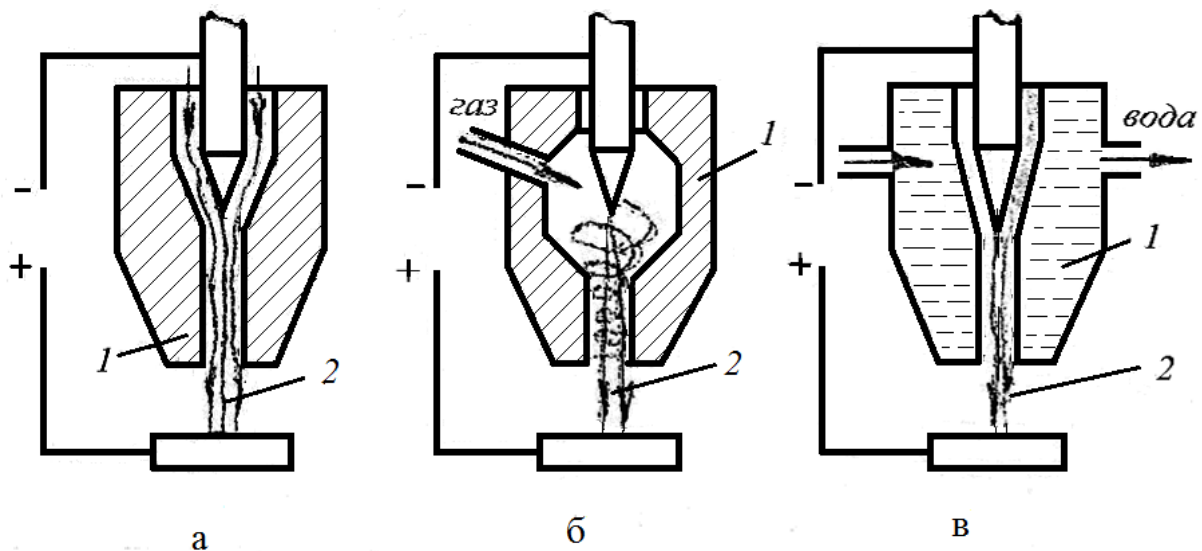


Рис. 5.6. Схеми стабілізації електричної дуги в плазмотронах

В якості плазмоутворюючих газів застосовують аргон, азот, водень, гелій, кисень та повітря. Стабілізація електричної дуги в плазмотроні може

виконуватись аксіальним потоком газу, який створює шар 2, що обмежує стовп дугового розряду (рис. 5.6, а). При тангенціальній подачі (рис. 5.6, б) дуга стабілізується вихровим потоком 1 плазмового газу. Дуже ефективним є спосіб стабілізації дугового розряду за допомогою пальника, який охолоджується водою (рис. 5.6, в). При цьому стовп дуги проходить через невеликий отвір 1, який обмежує його зовнішній діаметр 2.

У машинобудуванні найчастіше застосовується плазмове різання, яке нарівні з кисневим та повітряно-дуговим різанням відносяться до групи процесів термічного різання. Їх продуктивність мало залежить від механічних властивостей розрізуваних матеріалів, вони дозволяють розрізувати заготовки великої товщини під різними кутами, можна отримувати різи різної конфігурації. При застосуванні плазмових різаків температура в зоні обробки сягає 4000 °С і вище, що викликає моментальне плавлення та вигорання оброблюваного матеріалу. Плазмотронами можна розрізати будь-які метали і сплави, в той час, як кисневими різакими розрізають переважно вуглецеві сталі та чавуни.

При різанні листових матеріалів з вуглецевих та легированих сталей, як плазмоутворююче середовище застосовують повітря, рідше кисень. Кольорові метали та сплави розрізають з використанням аргону, азоту, водню і їх сумішей.

При плазмовому різанні товщина розрізуваних заготовок не перевищує 250–300 мм. Застосовують два основні види плазмового різання: розрізальне та поверхнєве (стругання).

Розрізальне різання широко застосовується в заготівельному виробництві (особливо для розрізування нержавіючих та високолегированих сталей, кольорових сплавів), у ливарному виробництві для видалення ливникових систем та дефектів у виливків з чавунів та інших трудно-оброблюваних матеріалів. Плазмотронами розрізають листовий прокат товщиною до 150 мм з будь-яких металів і сплавів, але при кисневому різанні вуглецевих сталей товщиною понад 50–60 мм, швидкість розрізання дещо вища ніж при плазмовому.

Переваги плазмового різання особливо помітні при вирізуванні з листового прокату деталей складної форми, коли продуктивність обробки може в десятки разів перевищувати продуктивність при фрезеруванні. Але при плазмовому різанні точність обробки і шорсткість оброблених поверхонь значно гірші.

Поверхнєве плазмове різання (стругання) в основному застосовується для видалення дефектів (припалів, неметалевих включень) з поверхонь заготовок та оброблення кромки під зварні шви.

При плазмовому різанні контролюють такі показники: відповідність форми і розмірів заданим; не перпендикулярність кромки різі; шорсткість

поверхні різу; зона термічного впливу на структуру сплаву; наявність тріщин та інших дефектів.

Останнім часом для плазмового і кисневого різання широко застосовують 5-ти координатні верстати з ЧПК, на яких можна з великою точністю та продуктивністю вирізати різні деталі.

Наприклад, верстати фірми Hypertherm призначені для плазмового розрізування і стругання листів товщиною до 45 мм.

Як плазмоутворюючий газ застосовують чисте повітря або азот. Максимальна швидкість різання при цьому залежить від марки оброблюваного матеріалу і його товщини: для низьковуглецевої сталі товщиною від 0,5 до 32 мм максимальна швидкість різання дорівнює, відповідно, 16200–480 мм/хв; для алюмінієвих сплавів товщиною від 0,8 до 25,4 мм в діапазоні 15500–840 мм/хв; для нержавіючої сталі товщиною 0,5–32 мм – 1600–356 мм/хв.

Сучасні верстати з ЧПК, які призначені для плазмового і кисневого різання, дозволяють виконувати його в діапазоні товщин 0,5–130 мм (струм 15–1000 А), газокисневе різання заготовок для товщин 5–600 мм. Точність обробки контуру доходить до $\pm 0,1$ мм, швидкість переміщення різаків – до 38 м/хв.

5.7. Електровибухова обробка

Електровибухова обробка (ЕВО) відноситься до методу обробки тиском. При ЕВО використовують електрогідравлічний ефект, внаслідок якого утворюється ударна хвиля.

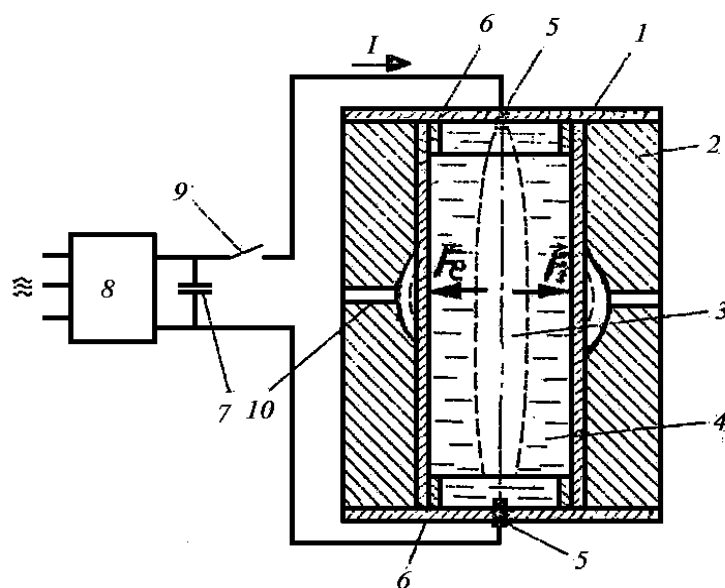


Рис. 5.7. Схема штампування електровибухом

З рис. 5.7 видно, що струм підводиться до випрямляча 8 і заряджає блок конденсаторних батарей 7. При замиканні перемикача 9, імпульсний струм I подається на електроди 5 і, внаслідок вибухового випаровування речовини 3, при пропусканні через неї короткочасного імпульсу струму, виникають сили F_e , які через рідину 4 деформують заготовку 1. При цьому тонкостінна заготовка (до 5 мм) приймає форму западини суцільної або рознімної матриці 2. При деформації заготовки повітря з порожнини матриці видаляється через отвори 10, або попередньо створюється вакуум. Рідина в зоні обробки утримується ущільнюючими деталями 6.

Енергія розряду при ЕВО може сягати десятків кілоджоулів при тривалості декількох десятків мікросекунд, моментальна сила струму доходить до 50 кА при довжині розрядного проміжку в декілька сантиметрів. Швидкість розповсюдження ударної хвилі до 3000 м/с і створюється газовий тиск до 10^{10} Па. При електричному вибуху конденсатор розряджається на дріт діаметром 0,1–0,3 мм (декілька дротів, фольгу). Початкова напруга в конденсаторі не перевищує декількох кіловольт.

Для нанесення покриття також застосовують електричний вибух у вакуумі.

Найчастіше ЕВО застосовують для штампування тонкостінних виробів. У залежності від величини виробу та товщини вихідного матеріалу, обробку виконують за один розряд одним або декількома електродами, а також послідовними розрядами. Для ЕВО застосовують імпульси високої напруги (не менше 30 кВ) тому, що при меншій напрузі розряд нестійкий. Крім того, при підвищенні напруги зростає ККД процесу.

До достоїнств ЕВО можна віднести: простоту оснастки; зберігання вихідної якості поверхні листової заготовки; рівномірність навантаження заготовки; можливість виготовлення деталей з заготовок одного виду. ЕВО також застосовують для нанесення покриття, очищення виробів, отримання нерознімних з'єднань, обробки поверхонь, дроблення матеріалів тощо.

5.8. Магнітоімпульсна обробка

Магнітоімпульсна обробка (МІО) відноситься до методів обробки вибухом. За технологічними характеристиками вона подібна до електровибухової обробки, але сили деформації тут утворюються не за допомогою електровибуху і рідини, а за допомогою магнітного силового поля.

Батарея конденсаторів 2 заряджається від випрямляча 1 і при замиканні перемикача 3, за допомогою обмотки 4 збудника, виникає магнітне поле певної просторової конфігурації (рис. 5.8).

Напруга в конденсаторі сягає десятків кіловольт, максимальна сила струму I – до сотень і тисяч кілоампер [7]. У зоні збудника, де установлена металева заготовка 5, виникає магнітне поле, яке швидко змінюється і приводить до виникнення електромагнітної сили F_e . Ця сила викликає деформацію листової заготовки, яка приймає форму матриці 6. Час деформації не перевищує 100 мкс.

Тому за допомогою МІО отримують листові деталі з сталі, алюмінієвих і мідних сплавів, а також з малопластичних матеріалів товщиною до 3-х мм.

Сучасні дослідницькі установки можуть створювати надзвичайно сильні магнітні поля з напруженістю яка може складати $H = 10^9$ А/м.

Незважаючи на те, що МІО подібна електровибухової і магнітоімпульсної обробці, вона має деякі переваги: обробку можна виконувати без рідкого робочого середовища, яке передає тиск на оброблювану заготовку; не потрібно герметизувати робочий простір; формоутворення можна виконувати через захисний екран, який не проводить струм. Разом з тим, потужність формоутворення за допомогою МІО менша, ніж за допомогою ЕВО.

Безповоротна пластична деформація тонкостінної заготовки можлива, якщо поверхнева щільність магнітних сил перевищує деякий рівень, який залежить від границі текучості матеріалу заготовки та її конфігурації. Зі збільшенням напруженості магнітного поля і часу протікання розрядного струму, а також зі зменшенням питомої провідності і теплоємності матеріалу заготовки, вона може нагріватися до температури 730–2730 °С. Вдало підбираючи режими обробки, можна застосовувати МІО для обробки матеріалів, які не пластичні при нормальній температурі.

При МІО формоутворення продовжується ~ 100 мкс, тому продуктивність обробки визначається часом, який потрібен для зарядки конденсатора (до десятків секунд), та часом установки і знімання деталі. ККД магнітоімпульсних установок низький і не перевищує 10–40 %.

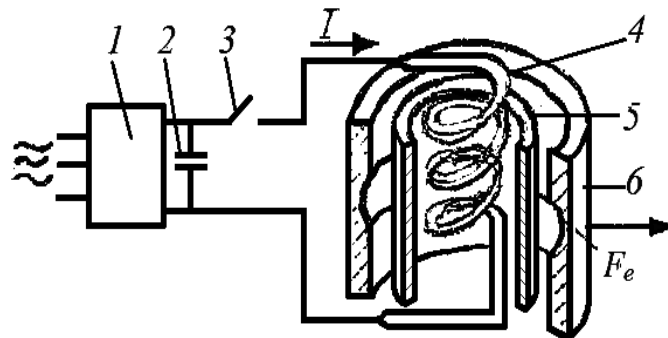


Рис. 5.8. Схема магнітоімпульсного формоутворення

Контрольні запитання для самоперевірки

1. У чому сутність електроерозійної обробки (ЕЕО) металів?
2. Які схеми ЕЕО використовують найбільш часто?
3. Яка точність може бути досяжною ЕЕО металів?
4. Яке явище лежить в основі розмірної електрохімічної обробки (ЕХО) металів?
5. Які застосовують основні схеми розмірної ЕХО металів?
6. У чому сутність ультразвукової обробки (УЗО) матеріалів?
7. Яка точність, шорсткість поверхні і продуктивність може бути досягнута при УЗО?
8. Які схеми розмірної УЗО заготовок застосовують в промисловості?
9. У чому сутність розмірної електронно-променевої обробки (ЕПО) матеріалів?
10. Які режими застосовують при розмірної ЕПО матеріалів?
11. Яка область застосування ЕПО матеріалів. Її можливості і недоліки?
12. Що лежить в основі світло-променевої обробки (СПО) матеріалів?
13. Які оптичні квантові генератори (ОКГ) можуть застосовуватися в машинобудуванні?
14. У чому сутність плазмової обробки?
15. Які переваги плазмового різання і його недоліки?
16. У чому сутність електровибухової обробки (ЕВО)?
17. У чому переваги ЕВО і область її застосування?
18. У чому сутність магнітоімпульсної обробки (МІО) матеріалів?

6. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

6.1. Загальні положення

З величезної номенклатури виготовлюваних деталей можна підібрати ряд подібний за формулою і розмірами деталей, для котрих можна розробити, приблизно, однакову технологію виготовлення, близьку до оптимальної. За критерій оптимальності звичайно приймають найнижчу собівартість деталі, що залежить від великої кількості факторів, і оптимізація ТП виготовлення деталі – дуже складне завдання.

Згідно з класифікацією деталей, розробленою професорами А.П.Соколовським і В.М.Кованом, усі деталі розділяються на сім класів: корпусні деталі, круглі стержні, порожнисті циліндри, диски, некруглі стержні, невеликі деталі складної форми, кріпильні деталі. Очевидно, що доцільно ввести 8-й клас – спеціальні деталі, котрі за формою значно відрізняються від деталей, що охоплені загальною класифікацією, і оброблюваних за загальною технологією.

6.2. Виготовлення корпусних деталей

Це найвідповідальніші деталі, які включають корпуси редукторів, блоки циліндрів, шпиндельні бабки, станини, плити тощо.

Заготовки корпусних деталей виготовляють, як правило, литими (з чавунів, алюмінієвих сплавів, сталей), рідше зварними, тому що зварені деталі дуже довго і повільно старіють і, поступово старіючи, викривляються, що приводить до порушення точності.

У ССВ виливки корпусів найчастіше отримують литтям у піщано-глинисті форми, рідше в кокілі або під тиском. До відправки в механічний цех у виливків видаляють ливники і додатки, термічною обробкою знімають внутрішні напруження, дробоструминною обробкою або іншим способом очищують поверхні, контролюють їх. Дуже часто виливки піддають обдирній обробці і фарбуванню суриком або емалями, тобто в механічний цех заготовки поступають у „пристойному” вигляді.

Для корпусних деталей характерна наявність точних базових поверхонь, а також основних і кріпильних отворів. Базовими поверхнями корпуси стикуються з іншими вузлами і ці конструкторські бази бажано приймати за чистові технологічні бази. Базові поверхні оброблюють з відхиленням від прямолінійності 0,05–0,2 мм на всій довжині і з шорсткістю R_a 4–0,63 мкм.

Основні отвори призначені для монтажу опор валів. Точність діаметрів основних отворів відповідає 7-му, рідше 8-му квалітетові,

шорсткість поверхонь – R_a 2,5–0,63 мкм. Допуски на міжцентрові відстані основних отворів і перпендикулярність осей – 0,04–0,06 мм і точніші; відхилення від співвісності отворів – у межах половини допуску на діаметральний розмір співвісних отворів; не перпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів допускається в межах 0,1–1 мкм на 1 мм радіуса.

Цього досягнути дуже важко, особливо точності міжцентрових відстаней, співвісності, взаємного положення отворів.

Типовий маршрут обробки корпусних деталей

Послідовно перерахуємо усі операції з зауваженнями і поясненнями щодо їх застосування.

1. Розмітка – застосовується тільки в ОВ і МСВ. У ВСВ і МСВ розмітка не допустима, а в ССВ – тільки для крупних деталей. Іноді перед розміткою виконують обдирання і фарбування в білий колір, щоб краще було видно розміточні лінії і накернені заглибини.

2. Створення чистових технологічних баз.

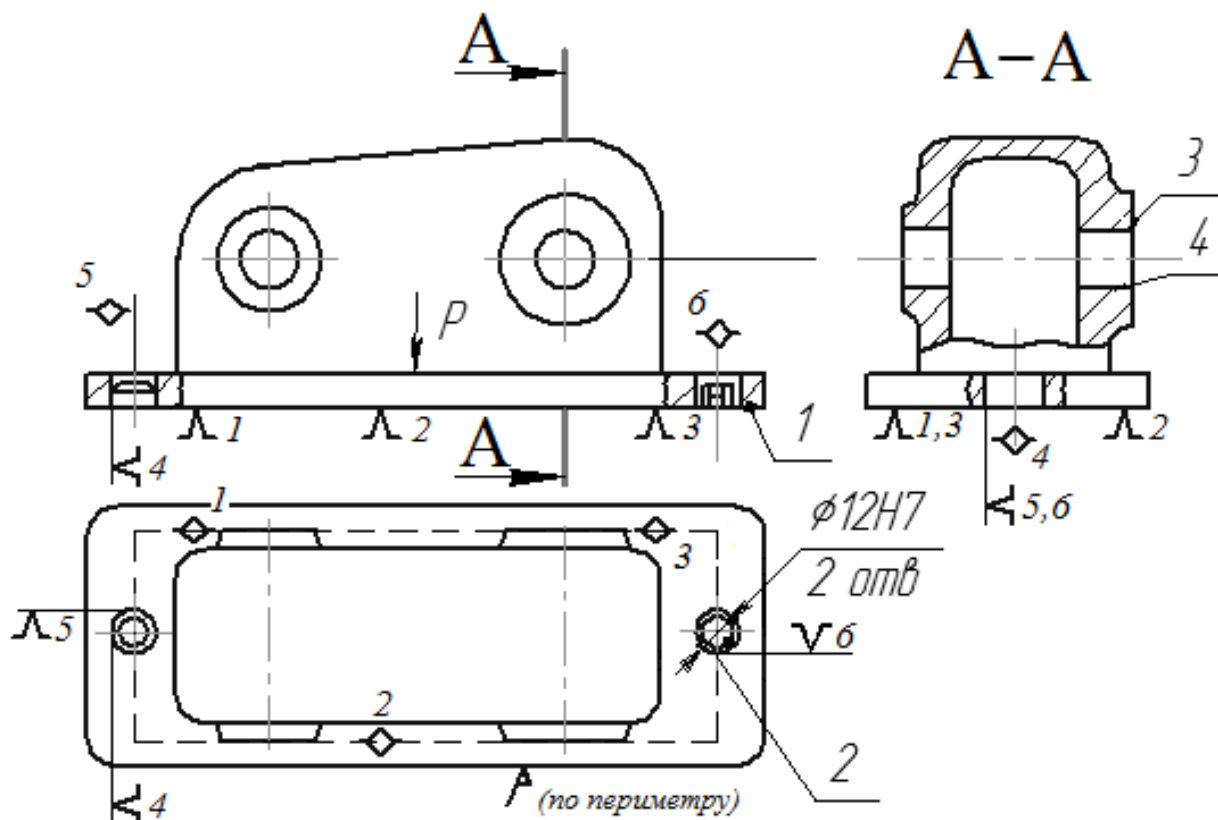


Рис. 6.1. Чистові технологічні бази (ТБ) при базуванні по площині та двох точних отворах

Базування корпусних деталей виконується з урахуванням їх конструктивних форм і технології виготовлення. Найчастіше коробчасті корпуси базують по плоскій поверхні і двох отворах діаметром 6–20 мм, виконаних за 7-м квалітетом точності (рис. 6.1). Ці отвори найчастіше є допоміжними базами, в які входять установочні пальці пристрою – циліндричний і ромбічний. Корпуси призматичної форми, у котрих отвори малі, а бокові зовнішні поверхні оброблюються, базуються по трьох зовнішніх поверхнях (рис. 6.2). Іноді, коли в корпусі оброблюються внутрішні поверхні, за чистові технологічні бази приймають одну зовнішню і дві внутрішні поверхні (рис. 6.3). Заготовки корпусів фланцевого типу базують по торцю фланця і точно обробленому діаметру отвору або бурта (рис. 6.4).

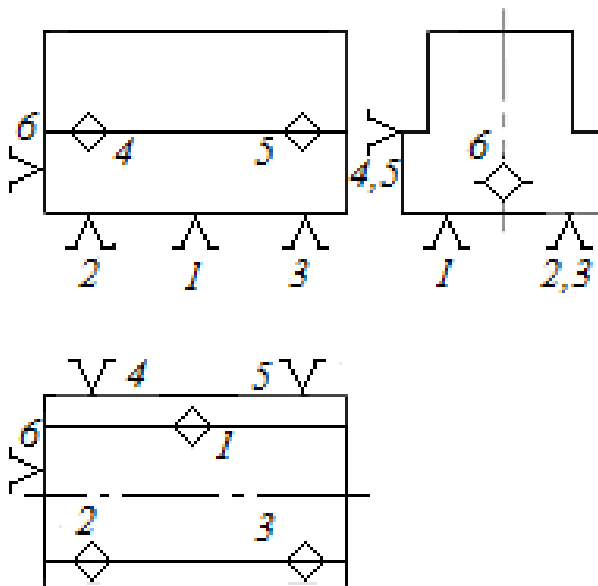


Рис. 6.2. Чистові ТБ при базуванні по трьох зовнішніх оброблених поверхнях

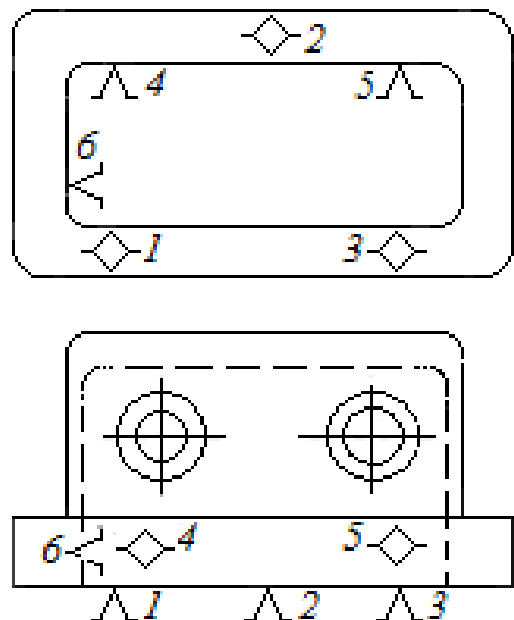


Рис. 6.3. Чистові ТБ при базуванні по одній зовнішній і двох внутрішніх оброблених поверхнях

У відповідності з прийнятою схемою базування, на *перших операціях спочатку оброблюють чистові бази*, базуючись на чорнові технологічні бази (рис. 6.5).

Наприклад, для схеми базування показаної на рис. 6.1, послідовність виконання операцій по обробці чистових баз наступна.

1. Чорнова обробка базової площини 1. Виконується на фрезерних верстатах і дуже рідко на стругальних. У ОВ і МСВ використовують універсально-фрезерні верстати. У ССВ, МВ і ВСВ – поздовжньо-фрезерні, карусельно- і барабанно-фрезерні.

2. Чистова обробка базової площини 1. Виконується чистовим фрезеруванням (іноді її об'єднують з чорною обробкою), або, як правило, на плоскошліфувальних верстатах. Якщо як чистові ТБ неможливо використати оброблені бокові поверхні корпусу, то в цьому випадку за бази приймають точні отвори на базових поверхнях. Іноді їх спеціально оброблюють, тобто створюють допоміжні ТБ. У нашому випадку (рис. 6.1) бокові базові поверхні не оброблюються, тому використовують або конструкторські, або допоміжні технологічні отвори. Тобто вибирають два отвори і оброблюють їх з високою точністю.

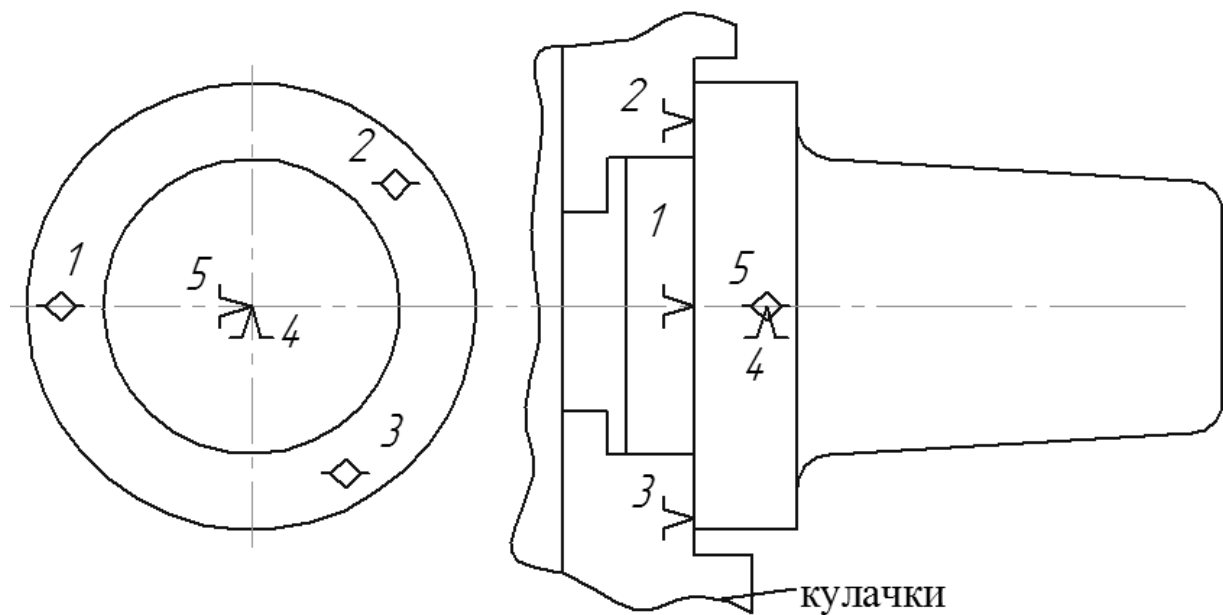


Рис. 6.4. Чистові ТБ при базуванні по обробленому торцю фланця і пояску в самоцентруючому патроні

3. Операція по обробці 2-х базових отворів (можна суміщатися з іншими) на установочній площині. Звичайно виконується на радіально-свердлильних, іноді на вертикально-свердлильних верстатах, а також на верстатах з ЧПК і навіть на координатно-розточувальних верстатах. Малі базові отвори діаметром до 12 мм свердлять і розвертають.

Ці три перелічені операції створюють чистові ТБ. Їх виконують на початку обробки.

Застосування верстатів з ЧПК у МСВ, ССВ і навіть ВСВ, дозволяє в одній операції за один установ повністю підготувати усі базові поверхні, а іноді обробити і інші поверхні.

Далі, у відповідності з принципом постійності технологічних баз, обробку, як правило, ведуть з одних чистових ТБ.

4. Обробка торців 3-х основних поверхонь.

Звичайно, торець отвору оброблюється у приливі. Спочатку треба обробити торець, якщо отвори не проліто. Якщо отвори у заготовці проліто, то обробку торця і попередню обробку отворів можна сумістити.

У загальному випадку, якщо отвори не проліто, то спочатку необхідно підрізати торець 3 на горизонтально-, вертикально- або поздовжньо-фрезерному верстаті під наступне свердління отвору.

Якщо ж отвори проліто, то обробку торців 3 і отворів 4 можна сумістити на розточувальних верстатах.

На верстатах з ЧПК з горизонтальним шпинделем можна з одного установу на чистові ТБ обробити заготовку корпусу, установлену на поворотному столі, начорно і начисто з 4-х боків.

5. Чорнова і чистова обробка основних отворів 4.

В умовах ОВ і МСВ ці операції виконуються або на радіально-свердлильних верстатах (для корпусів низької точності), або на більш точних і дорогих розточувальних (горизонтально-, іноді координатно-розточувальних).

В умовах ССВ застосовують розточувальні верстати, часто спеціалізовані, і, особливо, верстати з ЧПК. При цьому отвори оброблюють начорно і начисто різцевими розточувальними головками, зенкерами і розвертками, розточувальними блоками і пластинами, іноді на верстатах з ЧПК круговим (планетарним) фрезеруванням.

В умовах МВ і ВСВ для цих операцій застосовують спеціальні розточувальні або багатошпиндельні агрегатні верстати.

6. Обробка кріпильних і допоміжних отворів і поверхонь.

Їх може бути дуже багато (до 50 і більше): кріпильні отвори, різьбові, під змащування, під маслянки, приливи, заглибини, пази, бобишки тощо.

У ОВ і МСВ отвори оброблюють на радіально-свердлильних верстатах за розміткою. У ССВ – за кондукторами на радіально-свердлильних верстатах, або в МСВ і ССВ – на верстатах з ЧПК в

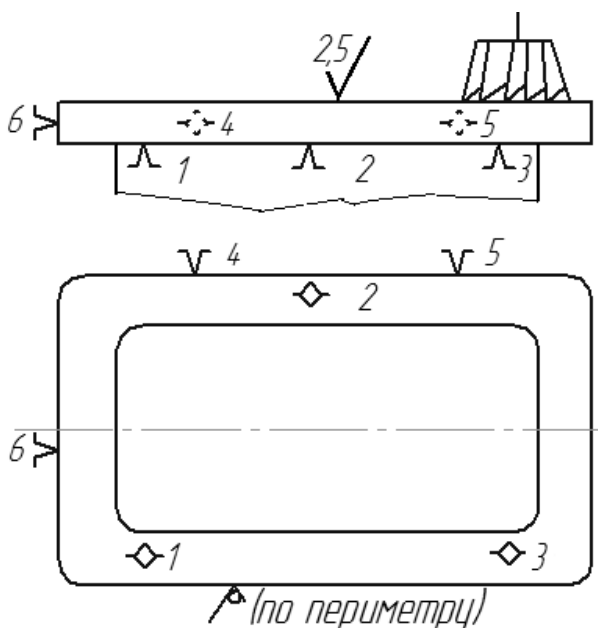


Рис. 6.5. Чорнові ТБ при обробці плоскої чистової ТБ

пристроях без кондукторних втулок, але з попереднім зацентруванням отворів на глибину, що дозволяє зразу утворити фаску під різьбу.

У МВ і ВСВ застосовують багатошпindelні, багатопозиційні спеціальні агрегатно-свердлильні верстати.

7. Завершальна обробка основних отворів.

Щоб не пошкодити ці отвори в процесі обробки заготовки, їх остаточну обробку виносять на кінець. Сюди відноситься тонке (алмазне) розточування, чистове розвертання, хонінгування, притирка тощо.

На цьому, як правило, закінчується обробка корпусних деталей.

Застосування верстатів з ЧПК у МСВ і ССВ дозволяє концентрувати операції і, іноді, навіть без підготовки чистових технологічних баз, повністю обробити корпус з одного установу.

Аналіз технологічності корпусних деталей

Технологічність – це властивість деталі, що дозволяє при її виготовленні застосовувати найбільш прості, продуктивні і дешеві способи обробки. Наскільки менша трудомісткість і собівартість виготовлення виробу, настільки він більш технологічний.

Застосовують кількісний (за ГОСТ 14.201-73) та якісний аналізи технологічності деталей. Ми будемо орієнтуватися на якісний аналіз.

При аналізі технологічності корпусних деталей, які оброблюються *на неавтоматизованих верстатах*, ураховують наступне.

1. Наскільки простий спосіб отримання заготовки? Чи правильно вибрані елементи конструкції заготовки з урахуванням способу її виготовлення?

2. Чи доцільно, ураховуючи програму випуску, замінити матеріал деталі і спосіб отримання заготовки (наприклад, замість литої застосувати зварну заготовку)?

3. Чи є в деталі достатні відстані між базами і їх розміри, що забезпечують її стійке положення при обробці, і як досягнути цього?

4. Чи допускає дана конструкція обробку площин напрохід і що цьому заважає?

5. Чи дозволяє форма отворів розточувати їх напрохід з одного або двох боків заготовки?

6. Чи можна в МВ одночасно оброблювати отвори на багатошпindelних верстатах з урахуванням їх міжцентрових відстаней (не менше 50 мм)?

7. Чи є вільний доступ різального і міряльного інструменту до оброблюваних поверхонь?

8. Чи потрібне підрізування торців маточин з внутрішніх боків вилівка і чи можна його виключити?

9. Чи є глухі отвори і чи можна їх замінити наскрізними?

10. Чи є оброблювані площини, розміщені не паралельно і не перпендикулярно одна до другої, і як запобігти цьому?

11. Чи є отвори, розміщені не перпендикулярно до площини входу свердла, і як уникнути цього?

12. Чи досить жорстка деталь і чи не обмежує її жорсткість режими різання і точність обробки?

13. Чи немає в конструкції деталі внутрішньої різьби великого діаметра і як цього уникнути?

При обробці корпусів на верстатах з ЧПК, необхідно додатково ураховувати специфіку цих верстатів.

14. Чи передбачене використання тільки стандартного інструмента, який входить у номенклатуру інструментів конкретного верстата з ЧПК?

15. Чи виконана максимально можлива уніфікація розмірів і форм оброблюваних поверхонь, що дозволяє зменшити кількість застосовуваних інструментів і використати типові цикли обробки?

16. Чи забезпечується надійне дроблення та видалення стружки?

17. Чи осі оброблюваних отворів паралельні до координатних осей верстата?

18. Чи передбачене кругове фрезерування для чорнової обробки великих отворів?

19. Чи виключене застосування довгих нежорстких борштанг для обробки співвісних отворів (їх краще оброблювати на верстатах з ЧПК почергово з двох боків)?

20. Чи передбачене максимальне використання симетричних і дзеркальних форм оброблюваних поверхонь?

21. Чи передбачене використання стандартних циклів для обробки циліндричних та різьбових отворів?

6.3. Виготовлення валів

Застосовують вали гладкі, ступінчасті, порожнисті, з фланцями і буртами, вали-шестерні і комбіновані вали. За формою геометричної осі вали бувають прямі, колінчасті, кулачкові, ексцентрикові. Їх поверхні можуть мати шпонкові пази, шліци, різьби, осьові і поперечні отвори, канавки, фаски тощо.

Вали виготовляють з сталей 35, 40, 45, 40Х, 18ХГТ, 40Г та інших марок. Вали з середньовуглецевих сталей піддають термічній обробці до НВ 230–260. Шийки валів з маловуглецевих сталей цементують і гартують до HRC 50–60. Вали вважають жорсткими, якщо $l/d \leq 12-15$. Спряжувані циліндричні поверхні валів виконують за 6–8-м квалітетом точності. з шорсткістю, відповідно, R_a 0,63–1,25 мкм і R_a 1,25–2,5 мкм.

Заготовки валів найчастіше отримують або пластичним деформуванням (куванням, штампуванням, обтискуванням на ротаційно-кувальних машинах, поперечно-гвинтовим прокатуванням, електро-висаджуванням), або шляхом розрізання прокату. Рідше застосовують литі заготовки валів з високоміцних і ковких чавунів.

При обробці поверхонь обертання на валах за базу, як правило, приймають центрові отвори (рис. 6.6) з передаванням крутного моменту за допомогою повідкового патрона, а при обробці шпонкових канавок, фрезеруванні платиків, свердлінні поперечних отворів – за базу приймають оброблені шийки валів (рис. 6.7).

Часто заготовки коротких валів установлюють консольно в трьохкулачковому самоцентрівному патроні з довгими опорними поверхнями кулачків без упору в торець (рис. 6.8), а заготовки довгих валів установлюють в трьохкулачковому патроні і задньому центрі (рис. 6.9)

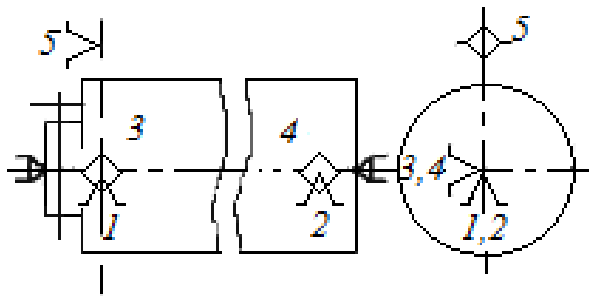


Рис. 6.6. Установка заготовки вала в центрах

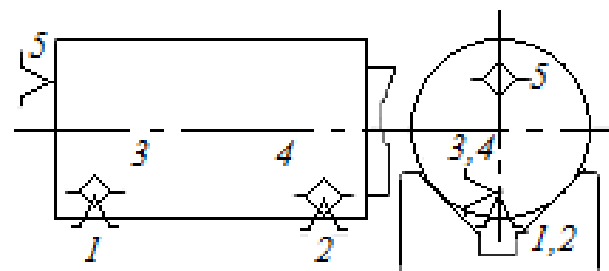


Рис. 6.7 Установка заготовки вала в призмі

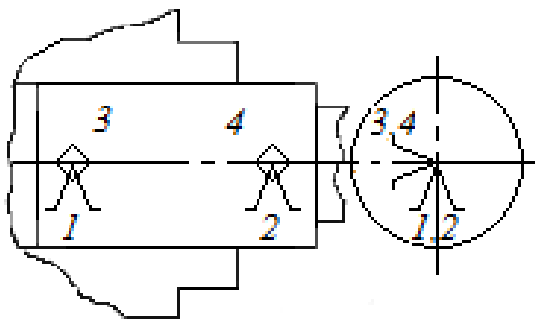


Рис. 6.8. Установка вала при його консольному кріпленні в патроні

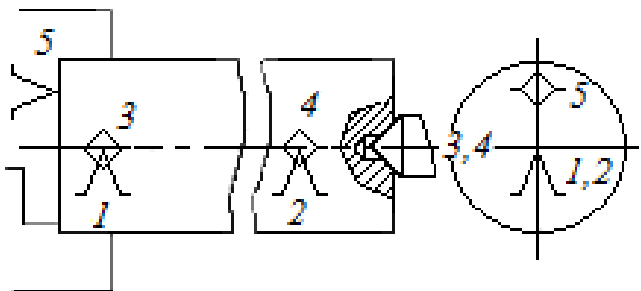


Рис. 6.9. Установка вала в 3-х кулачковому патроні і центрі

Тому найчастіше послідовність виконання операцій наступна.

1. Створення чистових технологічних баз, тобто підрізування торців і обробка центрових отворів.

В ОВ і МСВ на токарних верстатах підрізують торець і за два переходи (рис. 3.10), або за один перехід комбінованим свердлом свердлять отвори почергово з двох кінців (рис. 3.11).

У МВ, ВСВ, іноді ССВ, застосовують спеціалізовані двопозиційні фрезерно-центрувальні напівавтомати (рис. 3.12), на котрих на першій позиції паралельно двома фрезами підрізують торці, а на другій позиції свердлять комбінованими свердлами 2 центрові отвори.

2. *Чорнова обробка уступів вала з одного кінця* при установці вала в центрах. У ОВ і МСВ цю операцію виконують на токарних верстатах, іноді в МСВ – на токарних верстатах з ЧПК; у ССВ – на гідрокопіювальних, копіювальних і токарних верстатах з ЧПК; у МВ і ВСВ – на багаторізнцевих і гідрокопіювальних верстатах, іноді на токарних верстатах з ЧПК.

3. *Чорнова обробка уступів з другого кінця вала.* Виконується аналогічно 2.

4. *Чистова обробка уступів з одного кінця вала.* Виконується аналогічно до 2, тільки з іншими режимами різання.

5. *Чистова обробка уступів з другого кінця вала.* Виконується аналогічно до 4.

При обробці на універсальних верстатах та верстатах з ЧПК чорнову і чистову обробку часто об'єднують в одній операції.

6. *Обробка додаткових поверхонь*, що включає нарізування шліців, фрезерування шпонкових канавок, свердління отворів, нарізування різьб, фрезерування лисок тощо. Це група операцій, які виконуються на різних верстатах.

7. Звичайно, після обробок 6 виконують *термічну обробку вала*. Після повернення з ТО необхідно зачистити центрові отвори шліфувальними головками або твердосплавними зенкерами.

8. *Завершальна (фінішна) обробка точних поверхонь вала*, як правило, шляхом шліфування. У ОВ і ССВ – на круглошліфувальних верстатах з поздовжньою подачею. У МВ і ВСВ – на круглошліфувальних верстатах набором кругів за методом врізного шліфування, а також на безцентрово-шліфувальних верстатах методом врізного шліфування.

9. *Якщо необхідно* – доводка ступінчастих поверхонь вала за допомогою суперфінішу або притирки.

Виготовлення вала закінчено.

Аналіз технологічності валів

При аналізі технологічності валів ураховують наступне.

1. Чи можна замінити ступінчасті вали більш простими, гладкими?
2. Чи достатня жорсткість вала?
3. Чи можна оброблювати поверхні вала напрохід?

4. Чи зменшуються в напрямках до кінців вала діаметральні розміри уступів?
5. Чи можна замінити закриті шпонкові канавки відкритими, які легко оброблюються жорсткими дисковими фрезами?
6. Чи мають поперечні канавки ступінчастих валів форму і розміри, придатні для обробки на гідрокопіювальних верстатах?
7. Чи є можливість уникнути виступаючих некруглих поверхонь на валу?

6.4. Виготовлення деталей класу „порожнисті циліндри”

До цього класу деталей відносяться втулки, циліндри, гільзи та інші. Втулки можуть бути гладкими, з буртами або фланцями, розрізні, конічні, згорнуті з стрічки та інші. Робочі поверхні втулок можуть мати канавки та поперечні отвори для змащування, різні додаткові поверхні, в тому числі і різьбові.

Втулки виготовляють з сталей, чавунів, бронзи, латуней, спеціальних сплавів, кераміки і пластмас.

Для втулок з діаметром отвору до 30 мм заготовкою служить калібрований або гарячекатаний пруток, а також виливки; для втулок з діаметром отвору понад 30 мм застосовують суцільнотягнуті труби, литі заготовки або поковки з отворами; для згорнутих тонкостінних втулок як заготовки застосовують латунні або бронзові стрічки, біметалеві стрічки. Заготовки для втулок з спеціальної кераміки і пластмас отримують пресуванням і спіканням. Заготовки великих втулок, гільз, циліндрів найчастіше одержують відцентровим литтям.

При виготовленні деталей цього класу основне завдання – отримання високої концентричності зовнішніх поверхонь відносно внутрішніх і перпендикулярності торців до осі. Це можна забезпечити обробкою зовнішніх поверхонь і торців при базуванні на оброблений отвір, або обробкою внутрішніх поверхонь при базуванні на зовнішні. Тобто обробку виконують за два установи або дві операції.

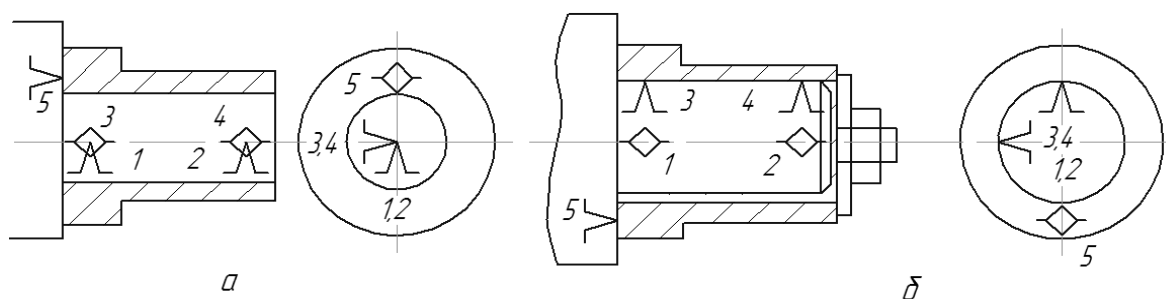


Рис. 6.10. Установка довгої втулки на оправці з натягом або розтискній (а), та на жорсткій оправці з зазором (б)

Діаметральні розміри зовнішніх поверхонь втулок – деталей класу „порожністі циліндри” оброблюють за 7-9-им квалітетом; отворів в них, звичайно, за 7–8-им, а іноді – за 5-им квалітетом. Різностінність допускається в межах 0,03–0,10 мм; неперпендикулярність торцевих поверхонь до осі отвору – до 0,1–0,2 мм на 100 мм радіуса. Шорсткість зовнішніх поверхонь обертання складає – R_a 2,5–0,32 мкм, торцевих поверхонь – R_a 10–2,5 мкм.

За чистову технологічну базу, як правило, приймають отвір і один з торців (рис. 6.10), бо найвищу точність центрування можна одержати при установці деталі на оправку. Тому при виготовленні втулок за базу приймають центральний отвір і один з торців.

У відповідності з цим, послідовність виготовлення порожнистих втулок наступна.

1. *Створення чистових технологічних баз*, тобто обробка отвору і базового торця. У ОВ і МСВ цю роботу виконують на токарних верстатах. У ССВ – на токарно-револьверних, іноді на вертикально-свердлильних, а також складні втулки на верстатах з ЧПК. У МВ і ВСВ застосовують одно- і багатошпиндельні токарні автомати і напівавтомати.

Дуже часто обробку отворів суміщають з одночасною обробкою торця, щоб з одного установу обробити дві базові поверхні.

2. *Після обробки чистових ТБ*, оброблюють зовнішні поверхні заготовки, установлені на точній жорсткій або розтискній оправці (рис. 6.10). Обробка зовнішніх поверхонь обертання в усіх типах виробництва виконується на верстатах токарної групи, причому в ССВ застосовують токарно-револьверні верстати і верстати з ЧПК, а в МВ і ВСВ – багаторізцеві напівавтомати, багатошпиндельні токарні автомати і напівавтомати.

3. *Після чорнової і чистової обробки основних поверхонь*, оброблюють додаткові поверхні (змащувальні канавки, отвори, пази тощо). При цьому заготовки часто базують в призмах по зовнішній циліндричній поверхні (рис. 6.7).

4. *Термічна обробка.*

5. *Завершальна (фінішна) обробка* робочих поверхонь виконується у такій послідовності: спочатку оброблюють отвори, а після, базуючись на них, – зовнішні поверхні обертання. Фінішними операціями може бути шліфування, хонінгування, розкатування, притирка.

При виготовленні втулок необхідно враховувати, що якщо отвір у втулці виконується зі шпонковим пазом або шліцами, то обробку шпонкового паза або шліців необхідно виконувати одночасно зі створенням технологічних баз, щоб після використати ці поверхні для передачі крутного моменту від оправки до оброблюваної втулки. Обробка

цих поверхонь в усіх типах виробництва виконується на протяжних верстатах. Шліцьові отвори завжди протягують, а шпонкові пази протягують, а іноді, в ОВ і МСВ, довбають.

Ступінчасті втулки, які мають велику кількість зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання, в ССВ оброблюють на токарно-револьверних верстатах і верстатах з ЧПК, а в ВСВ і МВ – на токарних автоматах.

При остаточній обробці отворів гідроциліндрів широко застосовують розкатування багатороликowymi головками.

Аналіз технологічності порожнистих циліндрів

При аналізі технологічності втулок ураховують наступне.

Найбільш характерні приклади технологічних і нетехнологічних конструкцій втулок наведені на рис. 6.11.

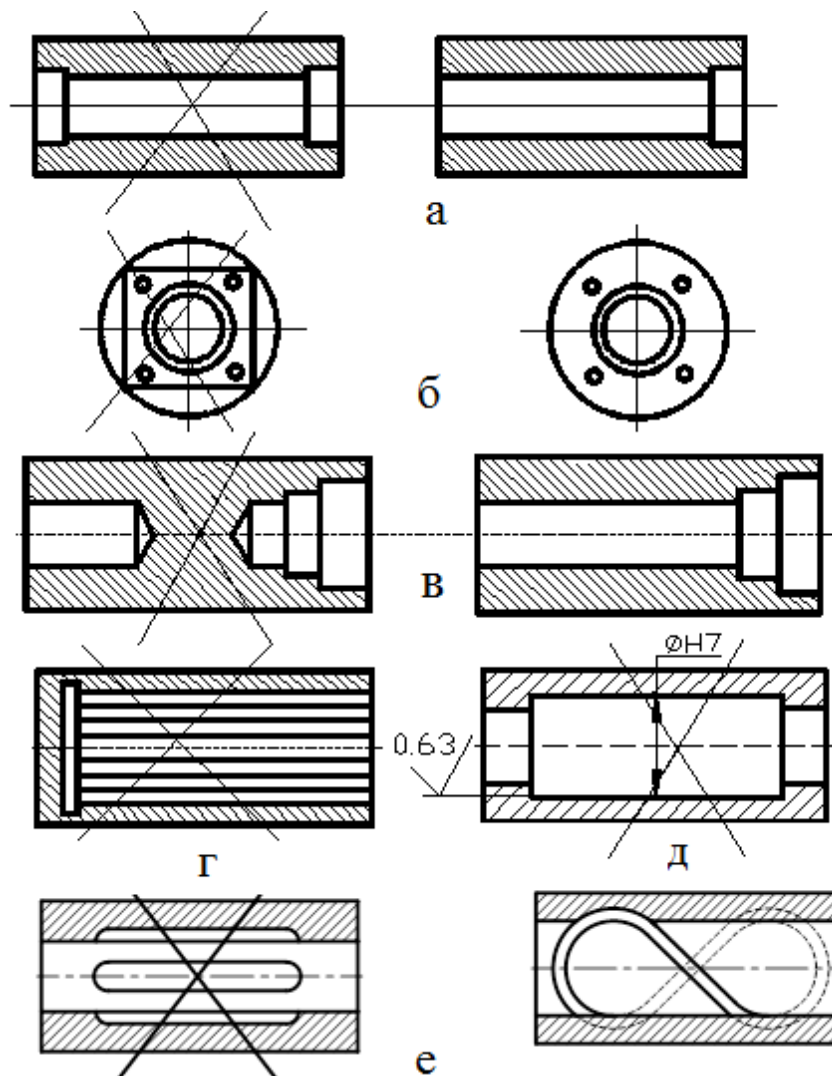


Рис. 6.11. Приклади нетехнологічних (X) і технологічних конструкцій втулок

1. Чи зовнішні (внутрішні) ступінчасті поверхні втулок рівномірно зменшуються (збільшуються) в напрямі до торця, щоб їх можна обробити з одного установу (рис. 6.11, а) і при цьому забезпечити найвищу точність?

2. Зовнішні фланці у втулках необхідно передбачити круглими, а не квадратними (рис. 6.11, б).

3. У втулках необхідно уникати глухих отворів, розміщених з двох кінців (рис. 6.11, в). Особливо важко виконувати шліцьові глухі отвори (рис. 6.11, г), які можна виконати тільки довбанням або прошиванням. При цьому передбачають канавку для виходу інструмента. Такі отвори необхідно замінювати більш технологічними наскрізними.

4. Ні в якому разі не можна призначати високу точність обробки і низьку шорсткість поверхонь отворів, закритих для різальних і міряльних інструментів (рис. 6.11, д).

5. Необхідно уникати замкнених змащувальних канавок, паралельних до осі втулки (рис. 6.1, е), через відсутність виходу для інструмента. Але замкнені криволінійні змащувальні канавки у вигляді «вісімки» дуже легко прорізати на токарно-гвинторізному верстаті. При цьому різець повинен виконати один поступально-зворотний рух на один оберт втулки.

6.5. Виготовлення деталей класу „диски”

До цих деталей відносяться циліндричні і черв'ячні зубчасті колеса, шків, маховики, фланці, поршні, кришки підшипників і гідроциліндрів тощо. Ці деталі відрізняються від порожнистих циліндрів відношенням довжини l до зовнішнього діаметра d :

у втулок $l/d \geq 0,5-2,5$, а у дисків $l/d < 0,5$.

Технологічні завдання при обробці дисків ті ж, що і при обробці втулок: досягнення концентричності внутрішніх і зовнішніх поверхонь і перпендикулярності торців до осі деталі. Крім того, в ряді випадків необхідно отримати точні внутрішні і зовнішні фасонні зубчасті і криволінійні поверхні. Точність центрального отвору – 6–8 квалітет, перпендикулярність торців до осі деталі в межах 0,02–0,03 мм на діаметрі.

Шків, поршні, фланці, в основному, виготовляють з чавунів СЧ 15, СЧ 18. Шків також виготовляють з алюмінієвих сплавів, текстоліту, пластмас, зварювані шків – з сталей. Зубчасті колеса найчастіше виготовляють з різних сталей, рідше з чавунів та пластмас.

Заготовки дисків у більшості випадків застосовують штучні: литі, штамповані, ковані; дрібні шестерні діаметром до 50 мм також виготовляють з прутків.

Чистовою базою при обробці цих деталей, звичайно, служить один з торців і центральний отвір, або центруючий пояс. Обробка деталей цього класу в принципі не відрізняється від обробки деталей класу “порожністі циліндри”.

1. *Утворення технологічної бази*, тобто свердління, зенкерування, розвертання або розточування центрального отвору. В ОВ і МСВ цю операцію виконують на токарних або свердлильних верстатах. У ССВ – на токарно-револьверних верстатах або на токарних верстатах з ЧПК. У МВ і ВСВ – на токарних напівавтоматах, іноді на свердлильних верстатах. Звичайно, при виконанні цієї операції на токарних верстатах доцільно з одного установу обробити торець, тобто другу базову поверхню, що забезпечує високу точність обробки. При виконанні цієї операції за чорнову ТБ найчастіше приймають необроблений торець і зовнішній діаметр заготовки (рис. 6.12).

2. *При установці заготовки на точній оправці* (рис. 6.13) оброблюють небазові торцеві і зовнішні поверхні, переважно на верстатах токарної групи.

3. *Свердління допоміжних отворів, фрезерування пазів, лисок, канавок і т.п.*, тобто обробка додаткових поверхонь, а також нарізування зубів, при базуванні заготовки на оправці, іноді в призмі.

Якщо центральний отвір має шліци або шпонкову канавку, то їх, як правило, оброблюють протягуванням чи довбанням після виконання першої операції і даліше використовують для передавання крутного моменту.

4. *Термічна обробка.*

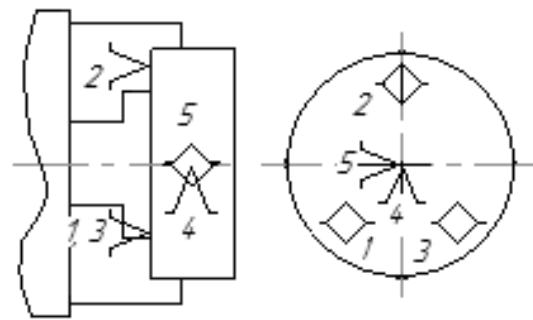
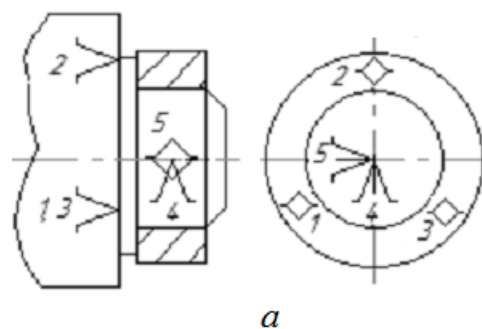
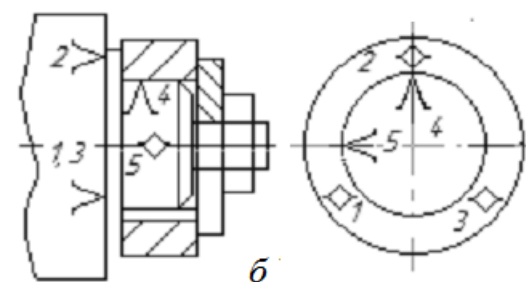


Рис. 6.12. Установка диска в трьохкулачковому самоцентрівному патроні



а



б

Рис. 6.13. Установка диска-втулки на розтискній цанговій оправці (а), або на жорсткій оправці з зазором (б)

5. *Завершальна (фінішна) обробка.* Виконується у такій же послідовності, як і при виготовленні втулок, тобто спочатку виконується остаточна обробка торця і базового отвору, а після - решти робочих поверхонь.

Фінішна обробка найчастіше виконується шліфуванням, притиранням і хонінгуванням.

Обробка шестерень виконується точно так само, але нарізування зубів виконується в кінці 3-ї групи операцій. Після нарізування зубів виконується ТО шестерень і далі – завершальна обробка. Якщо ТО заділа отвір, то спочатку обробляють його. Якщо ТО зазнали тільки зуби, то додаткова фінішна обробка базового отвору не передбачається. Після ТО шліфують і притирають зуби. Дуже часто на початку протягують шліцьовий отвір, напресовують заготовку на шліцьову оправку і, не знімаючи її з оправки, виконують повну механічну обробку до ТО.

Іноді, після шліфування зубів, шестірню базують по торцю і трьох западинах між зубами і доводять центральний отвір.

Аналіз технологічності зубчастих коліс

При аналізі технологічності зубчастих коліс ураховують наступні фактори (рис. 6.14).

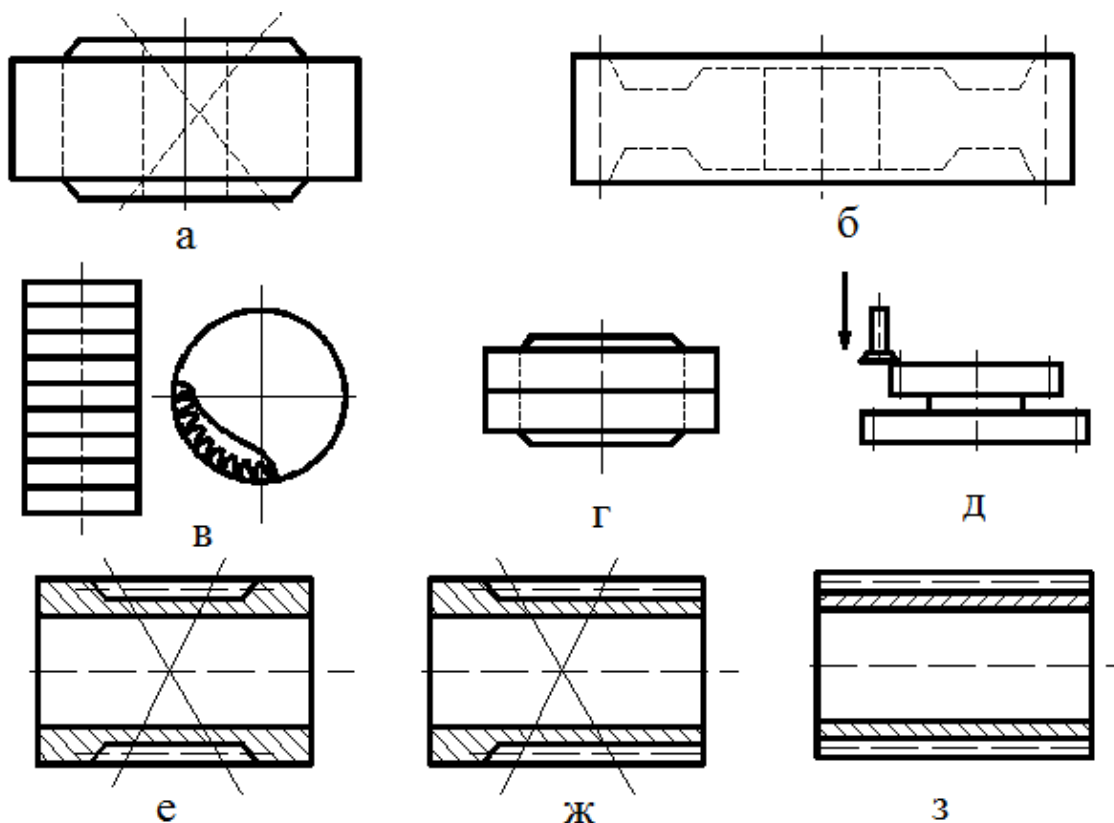


Рис. 6.14. Приклади нетехнологічних (X), допустимих і технологічних конструкцій шестерень

1. Чи можливе застосування високопродуктивних методів формоутворення зубчастого вінця пластичним деформуванням у гарячому або холодному стані?

2. Чи проста форма центрального отвору, що спрощує обробку і виключає застосування токарно-револьверних верстатів і токарних напівавтоматів?

3. Чи проста конфігурація торців вінця і маточини? Торці маточини не повинні виходити за межі зубчастого вінця (рис. 6.14, а, б), що дозволяє нарізувати зуби одночасно в блоці деталей (рис. 6.14, в). Якщо це неможливо, то необхідно, щоб маточина виступала тільки з одного боку (рис. 6.14, г), що дозволить нарізувати зуби одночасно в двох шестірнях.

4. Зуби повинні бути наскрізними, або хоча б мати вихід западин на один торець (рис. 6.14, е, ж, з). У блочних коліс необхідно передбачати канавки для виходу інструмента (рис. 6.14, д).

5. Симетричне розміщення перемичок між маточиною і вінцем зубчастих коліс, що підлягають термічній обробці, зменшує жолоблення і односторонні деформації при ТО.

6.6. Виготовлення деталей класу „некруглі стержні”

До цього класу відносять важелі, шатуни, тяги, вилки, коромисла, балансири тощо. Їх виготовляють з сірих чавунів СЧ 18, СЧ 24, ковких чавунів КЧ 37–12, КЧ 35–10, сталевих литва марки 35Л, з сталевих прокату марок 35, 40, 45, 40Х та інших.

Як заготовки, найчастіше застосовують виливки, а для відповідальних деталей – штамповані заготовки. В ОБ і МСВ можуть застосовуватися заготовки, що виготовлені вільним куванням, з прокату, іноді зварні.

Звичайно, важелі і шатуни мають два точних отвори, осі яких перпендикулярні до поверхонь бобишок, або до основної повздовжньої площини важеля. До цих деталей пред'являються високі вимоги за точністю: допуск на відстань між осями головних отворів – 0,1–0,2 мм; непаралельність осей отворів – 0,03–0,05 мм на довжині 200 мм; точність основних отворів під пальці або шийки вала – 6–9 квалітет; шорсткість поверхонь отворів – R_a 1,25–0,32 мкм; перпендикулярність торців бобишок до осей отворів – 0,03–0,04 мм на радіусі 50 мм.

При виготовленні деталей цього класу вирішують такі технологічні завдання: одержання точних отворів і точних відстаней між ними; досягнення паралельності і перпендикулярності осей в заданих межах; забезпечення перпендикулярності торців до осей отворів.

Деталі цього класу, через витягнену форму і трудність базування, є одними з найбільш незручних у виготовленні.

Найчастіше за чистові технологічні бази при обробці важелів приймають торцеві поверхні і точні отвори (рис. 6.15). Іноді спеціально створюють допоміжні або додаткові технологічні бази у вигляді пластиків, центрів, бобишок.

Тому типовий маршрут обробки важелів має наступний вигляд.

1. Створення чистових технологічних баз, тобто обробка торцевих поверхонь, яка виконується на фрезерних верстатах: в ОВ і МСВ – на універсально-фрезерних; у МВ – ВСВ на поздовжньо-фрезерних і фрезерних безперервної дії. У МВ широко застосовують зовнішнє протягування торцевих поверхонь важелів.

2. Чорнова і чистова обробка основних отворів для створення чистових ТБ. Виконується в усіх виробництвах на різних верстатах свердлильної групи в залежності від програми випуску і точності обробки.

У МСВ і ОВ неточні важелі оброблюють на радіально-свердлильних верстатах, а точні – на горизонтально-, або навіть на координатно-розточувальних.

У ВСВ і МВ – на багатопозиційних агрегатно-свердлильних і розточувальних верстатах. Іноді поверхні отворів, особливо з кришками-бугелями, оброблюють зовнішнім і внутрішнім протягуванням.

Операції 1-у і 2-у в МСВ і ССВ можна сумістити при обробці на верстатах з ЧПК.

При виконанні 1-ой і 2-ої операції за чорнові бази, як правило, приймають плоскі поверхні бобишок і зовнішні необроблювані поверхні головок (рис. 6.16).

3. Повна обробка другого торця і різних додаткових поверхонь (отворів, приливів, уступів, пазів і т.п.) при базуванні на оброблені торці бобишок і два основні отвори (рис. 6.15). Це група операцій, які виконуються на різних верстатах.

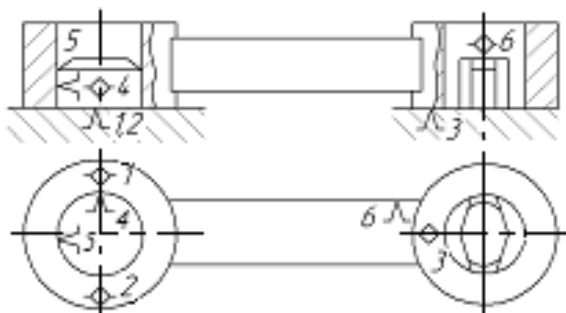


Рис. 6.15. Чистові технологічні бази при обробці важелів

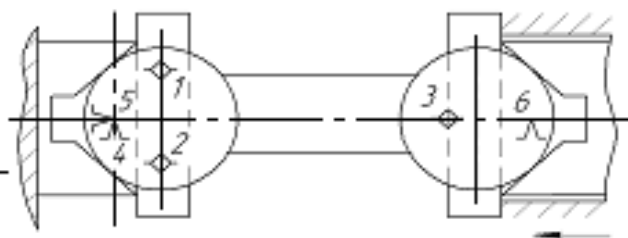


Рис. 6.16. Чорнові технологічні бази при обробці важелів

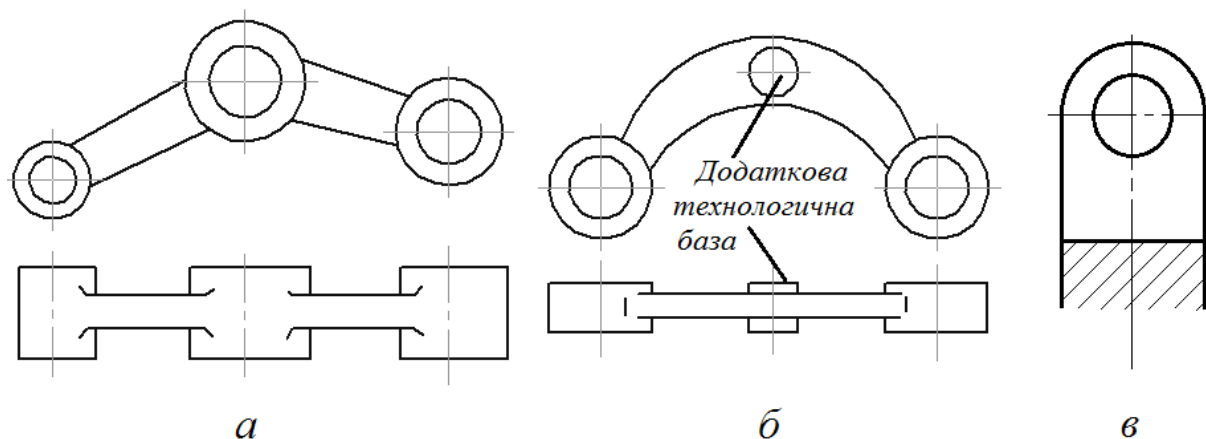


Рис. 6.17. Приклади нетехнологічних (X) і технологічних конструкцій важелів

4. Обробка (при необхідності) пазів в основних отворах. Як правило, для цього використовують протяжні верстати, іноді, в ОВ і МСВ, – довбальні.

5. При необхідності доводка точних отворів і їх торців.

6. Остаточна слюсарна обробка важелів і їх контроль.

Аналіз технологічності деталей класу „некруглі стержні”

При аналізі технологічності важелів ураховують такі фактори.

1. Як правило, ці деталі нетехнологічні, тому що вони не жорсткі і не мають розвинутої технологічної бази.

2. Усі оброблювані торці важелів, про можливості, повинні лежати в одній площині (рис. 6.17, а). Важелі з різною висотою торців отворів нетехнологічні, тому що їх важко установити і неможливо обробити напрохід.

3. Для створення достатньо надійних базових поверхонь, необхідно передбачати додаткові або допоміжні технологічні бази (рис. 6.17, б).

4. Якщо у важеля є вушко, то його конструкція повинна допускати фрезерування напрохід, як найбільш технологічне (рис. 6.17, в).

5. Необхідно намагатись максимально спростити конструкцію важелів.

6.7. Складання машин та апаратів

6.7.1. Загальні положення процесів складання

Складання є заключним етапом у виробництві машин і апаратів і являє собою великий комплекс слюсарних, складальних, приганяльних, регулювальних, перевірних і фарбувальних робіт. Від якості складальних робіт у значній мірі залежить роботоздатність, надійність і довговічність

Вихідними даними при розробці технологічного процесу складання є: складальні креслення вузлів, агрегатів і машин у цілому; специфікації деталей по вузлах; технічні умови на складання і приймання вузлів і машини; програма випуску.

Технологічний процес складання полягає в з'єднанні деталей у комплекти, комплектів у вузли, вузлів у агрегати, агрегатів у машину. Тобто виріб розбивають на складальні одиниці. У відповідності до розбивання виробу на складальні одиниці, складання розділяється на вузлове і загальне (генеральне).

Головним документом є карта технологічного процесу складання. Для ОВ і МСВ розробляють маршрутну технологію складання вузлів і загального складання; для ССВ – маршрутну карту складання комплектів і вузлів з більшою деталізацією процесів складання; у ВСВ і МВ – операційні складальні технологічні карти. Структура цих документів подібна до карт для механічної обробки.

Базова деталь вузла

Базова деталь виробу

Базова деталь вузла

Базова деталь агрегата

Виріб

Шкала часу

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 B

318

На цій схемі зліва квадратиком позначена базова деталь (вузол) виробу 1, на яку установлюють агрегати, вузли, окремі деталі, а справа – готовий виріб В. Вони з'єднуються прямою лінією, на котрій можна відкласти шкалу часу (наприклад, у робочих днях, тижнях). Наведена схема, відповідно до технології складання виробу, по шкалі часу приєднує вузли, агрегати, деталі, які необхідно встановити в певний час.

Схема складання з шкалами часу дозволяє чітко організувати проектування і виготовлення оснастки, запуск деталей у виробництво і складання, виключити помилки, знайти резерви підвищення продуктивності складання, своєчасно виготовити і налагодити виріб.

6.7.2. Технологічні методи складання

Необхідна точність спряження деталей при складанні забезпечується методами повної, неповної (часткової) і групової взаємозамінності, а також регулювання і індивідуальної пригонки (ГОСТ 10320-80).

При повній взаємозамінності виконується тільки з'єднування спряжуваних деталей і вузлів без регулювання і пригонки, полегшується організація потокового складання. Цей метод широко застосовується в МВ і СВ. Затрати на виготовлення деталей високої точності повинні перекиватися економією при складанні.

При неповній, частковій взаємозамінності допуски на розміри спряжуваних поверхонь деталей призначають більшими, ніж при повній взаємозамінності. У переважній більшості виробів нормальне складання забезпечується за рахунок того, що за теорією ймовірності крайні значення розмірів ланок багатоланкового розмірного ланцюга одночасно зустрічаються набагато рідше, ніж середні. Розрахунки показують, що при ризику браку в 1 % і кількістю ланок ланцюга понад шість, допуски на виготовлення деталей можна збільшити в 1,5–2 рази. У цьому випадку економія від розширення допусків на виготовлення деталей повинна перекиватися затрати на розбирання деяких виробів (приблизно 1 % з тих, що не зібралися) і доведення замикаючих ланок.

Метод групової взаємозамінності застосовують у тих випадках, коли конструкторські допуски менші від технологічних. Для цього деталі за розмірами спряжуваних поверхонь сортують на групи і складають між собою тільки деталі певної групи, забезпечуючи необхідну посадку. Метод дозволяє, при відносно неточному виготовленні окремих деталей, отримати точні спряження. Наприклад (рис. 6.19), якщо не застосовувати сортування деталей, то за теорією ймовірності зазор пари вал-отвір може коливатися в межах від нуля до суми допусків отвору і вала. Якщо ж

застосовувати сортування деталей, то зазор буде коливатися в межах $\Delta_{\min} - \Delta_{\max}$.

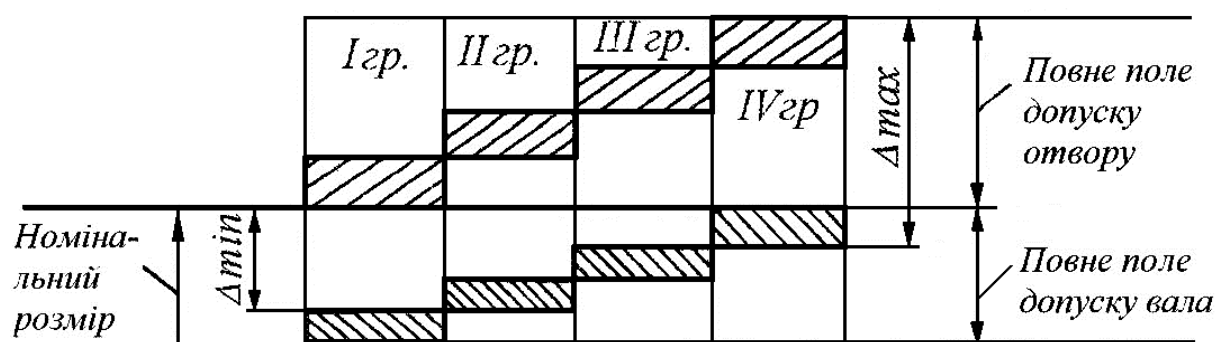


Рис. 6.19. Схема складання спряжуваних поверхонь за методом групової взаємозамінності

Цей метод дуже широко застосовується в підшипниковій промисловості, моторобудуванні тощо. Затрати на сортування деталей за розмірами повинні бути меншими від економії, яку отримують від збільшення допуску на деталі. Для сортування застосовують сортувальні автомати.

Суть складання за методом регулювання в тому, що необхідну посадку забезпечують введенням у розмірний ланцюг додаткової компенсуючої ланки у вигляді шайб, прокладок, втулок, клинів тощо. Наприклад, остаточний зазор A_4 (рис. 6.20) можна забезпечити за допомогою рухомої втулки (а), додаткової шайби (б), підрізування торця шестірні тощо.

Суть складання за методом індивідуальної пригонки полягає в тому, що задана точність спряження досягається шляхом індивідуальної пригонки розміру однієї з спряжуваних деталей до розміру другої.

Наприклад, для пари вал-втулка спочатку оброблюють отвір з великим допуском, точно його заміряють, і, виходячи з розміру отвору, по ньому на шліфувальному верстаті точно приганяють діаметр вала оскільки

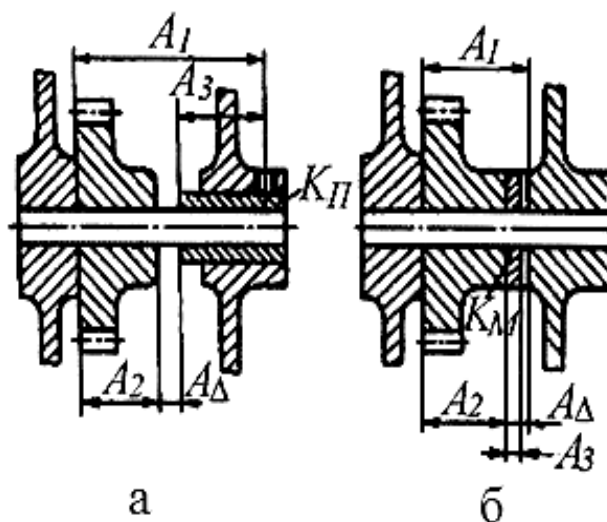


Рис. 6.20. Складання вузла з рухомим (а) та нерухомим (б) компенсаторами

його легше обробити. Складання за методом індивідуальної пригонки застосовується в ОВ і МСВ.

6.7.3. Способи з'єднання деталей і вузлів

З'єднання деталей розділяють на нерухомі і рухомі. Як нерухомі, так і рухомі з'єднання виконуються різними і нерознімними.

Різними називають з'єднання, які можуть бути розібрані без пошкодження спряжуваних елементів і кріпильних деталей.

Нерознімними називають з'єднання, розбирання котрих в процесі експлуатації не передбачено і супроводжується руйнуванням спряжуваних деталей або кріпильних елементів.

До нерухомих різних з'єднань відносять циліндричні, різьбові, шпонкові, шліцьові, штифтові та інші. Ці з'єднання, найчастіше, виконують за посадками з зазором, перехідними і з посадкою на конус.

Різьбові з'єднання виконуються за допомогою шпильок, болтів, гвинтів, гайок і трудомісткість складання різьбових з'єднань у МВ сягає 25–40 % від загальної трудомісткості складальних робіт. Тому звертають велику увагу на їх механізацію. Шпильки загвинчують за допомогою спеціальних шпилькотримачів. Для отримання надійного різьбового з'єднання, застосовують торцеві електро- і пневмогайкові верти з тарованим крутним моментом. У МВ застосовують багатошпиндельні гайкові верти. Затягування кришок, щоб не було перекосів і жолоблення, повинно виконуватися в певному порядку, починаючи з середини і виконується за декілька переходів (попереднє, підтягування і остаточне).

При зборці щільноскладених з'єднань, у тому числі шліцьових, рекомендується попереднє підігрівання охоплюючої деталі до температури 80–120 °С. Після складання з'єднання перевіряють на биття і хитання.

При складанні конічних з'єднань, деталь підбирають за конусом вала. Перевірку виконують за допомогою фарби, на хитання і за глибиною посадки охоплюючого конуса на валі.

При виконанні штифтових з'єднань з конічними або циліндричними штифтами, свердління і розвертання отворів під штифти виконують сумісно при складанні, тобто через отвір у кришці свердлять отвори у корпусі, а після разом розвертають і запресовують штифти.

До нерознімних з'єднань відносяться з'єднання, що виконані з гарантованим натягом, розвальцюванням, клепаанням, зварюванням, паянням, склеюванням.

З'єднання з гарантованим натягом виконують на гвинтових, пневматичних, гідравлічних та інших пресах, а також шляхом теплової дії, нагріваючи охоплювану деталь, або охолоджуючи охоплювану. Деталі

нагрівають до температури 150–450 °С, або охолоджують у термостаті з сухим льодом (денатурований спирт) до –78 °С, або з охолодженням рідким азотом до –195 °С. При тепловій дії міцність з'єднань у 1,5–2,5 разів вища, ніж при запресуванні на пресах, тому що не зминаються гребінці на поверхні деталей.

Розвальцювання виконується шляхом пластичної роздачі (збільшення діаметра) втулки під дією роликового інструмента – вальцівки. Швидкість вальцювання – 15–20 м/хв.

Клепання застосовується для міцного і герметичного з'єднання деталей. Клепанням називається з'єднання двох або декількох деталей за допомогою заклепок, що представляють собою циліндричні стержні з головками різної форми. Клепання буває холодне, гаряче і змішане. Воно застосовується головним чином для отримання нероз'ємного з'єднання деталей із смугового, листового і фасонного металу [43]. Для заклепок діаметром понад 14 мм застосовують гаряче клепання при температурі 1000–1100 °С. Клепання виконують на клепальних пресах з фасонними штампами. З розвитком зварювання область застосування клепання зменшується. Його застосовують, коли небажане нагрівання з'єднуваних деталей (наприклад, сепаратори підшипників), або коли з'єднують деталі з різних матеріалів (сталь – чавун, метал – пластмаса) [42].

Зварювання усе ширше застосовується, особливо в апаратобудуванні, при виготовленні ємностей, станин, ферм, рам тощо.

Паяння відрізняється від зварювання тим, що при зварюванні плавиться основний метал, а при паянні в зазор між нагрітими деталями вводять розплавлений припій. Паяння виконують: м'якими припоями на олов'яній основі від ПОС-18 до ПОС-90 (18 і 90 % олова, а решта – свинець) з $t_{пл} = 210\text{--}280$ °С; паяння твердими припоями на мідній основі від ПМЦ-36 до ПМЦ-54 (36 і 54 % міді, а решта – цинк) з $t_{пл} = 825\text{--}880$ °С; дорогими срібними припоями від ПСр10 до ПСр72 (10 і 72 % срібла, а решта мідь або цинк) з $t_{пл} = 720\text{--}830$ °С.

Склеювання деталей отримало деяке розповсюдження при з'єднуванні деталей з різнорідних матеріалів.

6.7.4. Форми організації складальних робіт

За формою організації роботи складання розділяється на два основних види: стаціонарне і рухоме.

Стаціонарне складання – це складання, коли виріб або агрегат складається на одному робочому місці, до якого подаються усі деталі і вузли. Застосовується в ОВ та СВ, а в окремих випадках (при виробництві великих машин) і в МВ.

Стаціонарна форма організації роботи може застосовуватися при індивідуальному і диференційованому (потоковому) методі складання.

При індивідуальному методі, складання ведеться стаціонарно на одному робочому місці, від початку до кінця однією бригадою робітників. Застосовується в ОВ і МСВ і може включати приганяльні роботи.

При диференційованому (потоковому) методі складання, весь процес складання виробу розділяється на окремі операції, які за часом рівні або кратні тактові випуску виробу. При цьому стаціонарна форма організується за методом *нерухомого потокового складання*, тобто вироби стоять на своїх місцях, а спеціалізовані бригади робітників з інструментом на візках переміщуються від виробу до виробу, виконуючи кожна свою операцію.

Рухоме складання – це складання, в процесі якого виріб переміщується з однієї складальної позиції на іншу. На кожній позиції спеціалізовані бригади виконують певні складальні операції. Вироби з позиції на позицію можуть переміщуватися безперервно або періодично. Рухома форма складання можлива тільки при диференційованому (потоковому) методі складання. Рухома форма застосовується в МВ і СВ.

Потоковий метод складання є найбільш прогресивним і може виконуватись тільки за методом повної взаємозамінності, при якому виключаються приганяльні роботи.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Як поділяють деталі за їх технологічними характеристиками?
2. Які операції входять в технологічні процеси по обробці корпусних деталей?
3. Які операції входять в технологічні процеси виготовлення валів?
4. Яка послідовність виготовлення деталей класу "порожністі циліндри"?
5. Які особливості виготовлення деталей класу "диски"?
6. Які особливості виготовлення деталей класу "некруглі стержні"?
7. У чому полягає технологічний процес складання?
8. Назвіть основні вихідні дані при розробці технологічного процесу складання?
9. Які технологічні методи складання застосовують в машинобудуванні?
10. Які існують способи з'єднання деталей і вузлів?
11. На які види поділяється складання за формою організації праці?

7. ТЕХНОЛОГІЯ ХІМІЧНОГО АПАРАТОБУДУВАННЯ

7.1. Технологія обробки листового прокату та труб

7.1.1. Загальні відомості

Технологічні схеми хімічних процесів включають велику кількість апаратів і пристроїв, які призначені для підготовки вихідної сировини, транспортування рідких, твердих і газоподібних продуктів між різними апаратами, очищення продуктів реакції від небажаних домішок тощо.

За технологічним призначенням розрізняють:

- *апарати-реактори*, в яких проходять основні хімічні перетворення продуктів;
- *теплообмінні апарати*, в яких теплообмін проходить через стінки (кожухо-трубчасті, пластинчасті, «труба в трубі», холодильники і конденсатори, повітряного охолодження, з паровим простором тощо);
- *масообмінні апарати*, в яких передача тепла проходить при безпосередньому контакті середовищ;
- апарати, які призначені для розділення середовищ і очищення продуктів (пилоуловлювачі, фільтри, центрифуги, відстійники);
- *апарати-мішалки*, які призначені для перемішування середовищ;
- *ємності* для зберігання продуктів (циліндричні, кульові та ін.).

Проте основними елементами хімічних виробництв є реактори, в яких проходять реакції для отримання готової продукції. Хімічні реакції часто проходять в присутності каталізаторів при високих тисках і температурах і реактори часто оснащуються пристроями для підігрівання і перемішування продуктів реакції. Розрізняють реактори періодичної дії, безперервної і півперіодичної дії. На рис. 7.1 показана схема реактора періодичної дії:

- 1 - котел,
- 2 – вихідний патрубок,
- 3 – мішалка, 4 – оболонка,
- 5 – зливний штуцер,
- 6 – змієвик-теплообмінник.

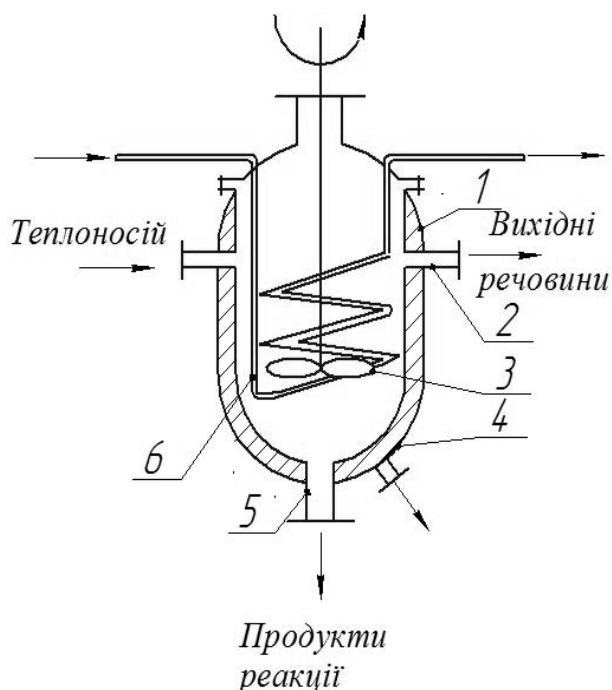


Рис. 7.1. Схема реактора періодичної дії

Апарати класифікують за експлуатаційними параметрами, товщиною стінок, конструктивними характеристиками, видами матеріалів, габаритами.

До експлуатаційних параметрів відноситься температура, робочий тиск і склад робочого середовища. У залежності від матеріалу, деталі таких апаратів можуть працювати при температурі від – 253 до +700 °С. Апарати відносно невеликих габаритів і надвисокого тиску працюють при тиску 100–400 МПа.

За товщиною стінок ємностей апаратів розділяються на тонкостінні (до 36 мм включно) і товстостінні (понад 36 мм). Усе основне заготовче обладнання (ножиці, згинальні машини) розраховане на товщину листа до 40 мм включно. Для обробки листів товщиною понад 40 мм застосовують спеціальні машини і їх зварюють електрошлаковим методом.

У залежності від експлуатаційних і конструкторських вимог, корпуси апаратів виготовляють з одно- або двошарового прокату. Одношарові корпуси виготовляють з вуглецевих, легованих і високолегованих сталей.

Апарати, які працюють під тиском, виготовляються згідно з вимогами ОСТ–26–291–71 «Сосуды и аппараты сварные стальные. Технические требования».

Для виготовлення ємностей і апаратів застосовують усі види зварювання, за винятком газового, яке допускається тільки для зварювання труб діаметром до 80 мм і товщиною стінки до 4 мм.

Для підвищення продуктивності праці та якості продукції і для спеціалізації машин та інструментів, застосовують уніфікацію розмірів апаратів (рис. 7.2).

У механічно оброблюваних деталей розміри з не зазначеними відхиленнями виконуються за 14 квалітетом точності, а у деталей без механічної обробки – за 16 квалітетом.

До матеріалів, які застосовуються для виготовлення деталей апаратів, пред'являються ряд вимог:

- *корозійна стійкість* (вона повинна забезпечити строк служби у конкретному середовищі не менший 5–8 років);
- *міцність* (застосовувані матеріали повинні мати границю міцності σ_B і текучості σ_T , які забезпечують надійну роботу при високому тиску та інших навантаженнях);
- *ударна в'язкість* (метал не повинен допускати крихкого руйнування деталей при низьких температурах і ударних навантаженнях);
- *теплостійкість*, тобто здатність металу протистояти розвитку повзучості;

- *теплова крихкість і знеміцнення*, що може розвиватися у деяких сталей при довготривалому навантаженні і високих температурах;
- *пластичність*, що важливо не тільки при експлуатації апаратів, а також при їх виготовленні (штампування днищ, згинання листів, розвальцювання труб тощо);
- *зварюваність*. Переважна більшість апаратів виготовляється за допомогою зварювання, тому метал повинен забезпечувати можливість створення надійних зварних з'єднань, в яких фізико-хімічні властивості дуже близькі до властивостей основного металу.

Як заготовки для виготовлення апаратів і обладнання застосовують листовий та сортовий прокат, труби, ковані та штамповані заготовки і виливки. За кількісним обсягом застосування заготовки розподіляються: литі деталі – 4 %; ковані – 1,2 %; холодноштамповані – 2,8 %; з прокату та труб – 85,7 %; після механічної обробки – 5,5 %; з пластмас – 0,7 %. Тобто, найбільший обсяг робіт займає обробка прокату та труб.

У процесі виготовлення деталей апаратів виникає необхідність змінювати розміри, форми, а інколи і фізико-механічні властивості вихідної заготовки. Розміри заготовки змінюють різанням, вирубкою і механічною обробкою. Форму заготовки (без зменшення об'єму) змінюють виправлянням, гнуттям, вальцюванням, обкатуванням, витяжкою. Для поліпшення фізико-механічних властивостей застосовують термічну обробку.

Доцільність застосування того або іншого способу обробки повинна бути обґрунтована економічними показниками.

7.1.2. Вирубка. Утворення отворів

Вирубка є одним із видів штампування і полягає у видаленні частини металу від заготовки шляхом обрізування по замкненому контуру. На відміну від різання, вирубка виконується не послідовно уздовж лінії різу, а одночасно по всьому контуру за допомогою вирубних штампів. Штамп (рис. 7.3) складається з стержня-пуансона і матриці з отвором для проходу пуансона. Пуансон направляється направляючими колонками (на схемі не показані), іноді з кульковими сепараторами, і входить у матрицю з зазором по периметру. Величина зазору складає біля 10 % від товщини вирубваного матеріалу. І матриця і пуансон мають гострі різальні кромки.

У процесі вирубки пуансон, заглиблюючись у матеріал, спочатку зминає поверхневі волокна, а після, коли дотичні напруження τ перевищують допустимі, матеріал розривається. Тому на торці лінії зрізу

замітна вузька, блискуча, гладка смужка (змінання волокон) і більш широка матова (лінія розриву).

На практиці вирубують отвори в матеріалі найчастіше товщиною від 0,1 до 15 мм. Вирубку дрібних деталей виконують на ексцентрикових пресах з одним стояком, а великих деталей – на більш потужних пресах з двома стояками.

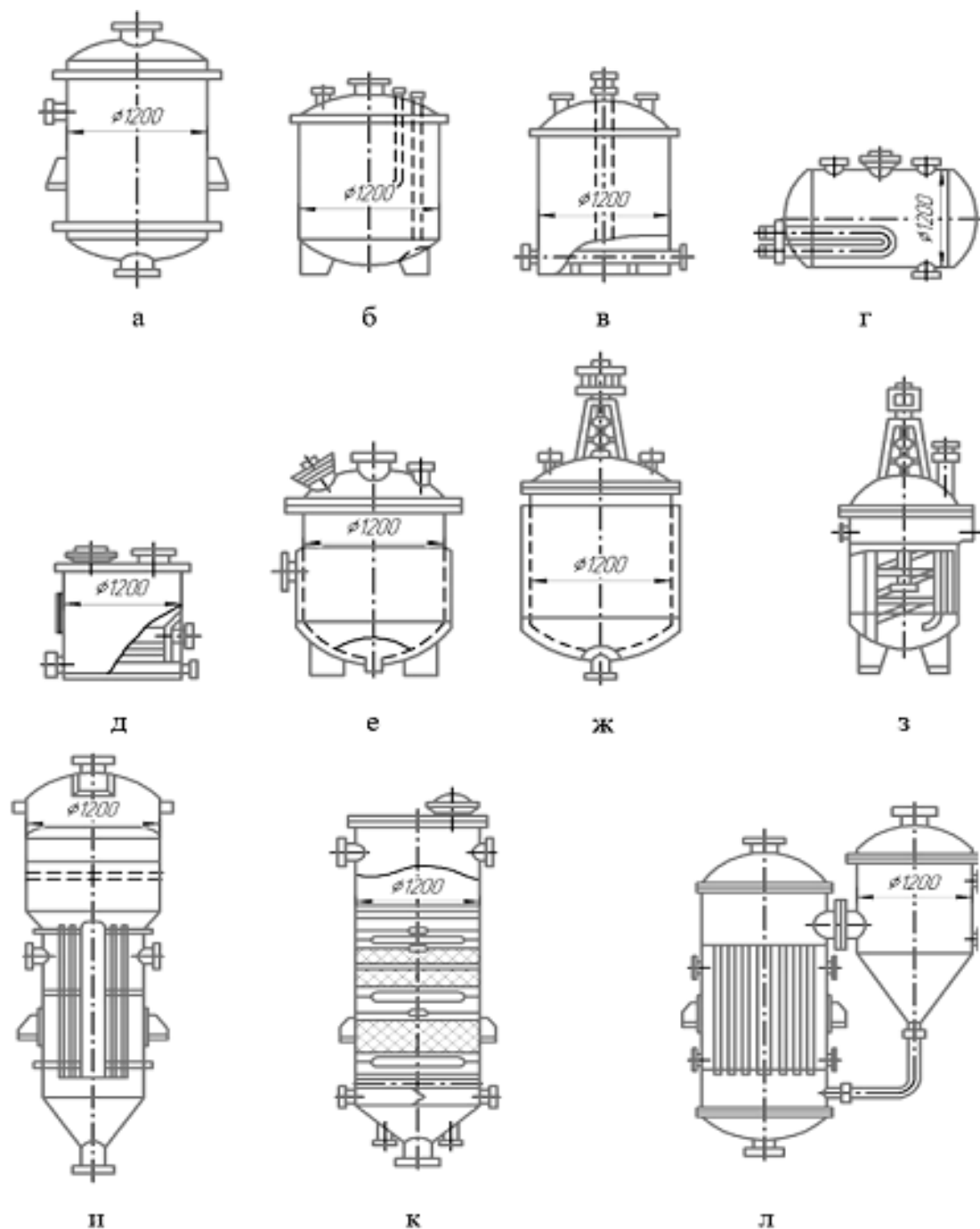


Рис. 7.2. Уніфіковані конструкції хімічних апаратів

У технічну характеристику преса входить: максимальне зусилля преса, величина ходу повзуна, кількість ходів за хвилину, розмір стола, розмір отвору в столі.

Зусилля, необхідне для вирубки, складається з зусилля вирубки і зусилля проштовхування $P = P_B + P_{II}$. Зусилля вирубки визначається за формулою:

$$P_v = K_3 \Pi \delta \tau, \text{ Н.}$$

Де $K_3 = 1,25 - 1,3$ – коефіцієнт, що ураховує затуплення кромки, нерівномірність зазору по периметру та інше; Π – довжина контуру вирубного виробу, мм; δ – товщина оброблюваного матеріалу при вирубці, мм; τ – допустима дотична напруження в Н/мм². Зусилля проштовхування через матрицю $P_n \leq 0,1 P_B$.

У тих випадках, коли зусилля вирубки виявляється дуже великим, рекомендується виготовляти матриці або пуансони з симетрично скошеними кромками під невеликим кутом (рис. 7.3, а, б). Це дозволяє значно зменшити зусилля вирубки. Якщо одночасно вирубуються декілька отворів, то для зменшення зусилля вирубки рекомендується виготовляти пуансони різної довжини (рис. 7.3, в).

Просікання отворів. Для виготовлення отворів різної форми у волокнистих і м'яких матеріалах типу картону, пресшпану, фібри, гетінаксу, гуми, пароніту, шкіри та інших застосовують інструмент – просічку.

Просічка – це інструмент, який має всередині наскрізний отвір по профілю вирубної заготовки і дуже гостре різальне лезо по периметру. Звичайно їх виготовляють з гартованої інструментальної вуглецевої сталі. При ударі або вдавлюванні з силою P просічка вирізає контур деталі або отвору. Щоб не пошкодити лезо просічки, вирубку виконують на підставці з м'якого дерева або пароніту.

Для виготовлення великих отворів у металевих заготовках застосовують газове або електродугове різання.

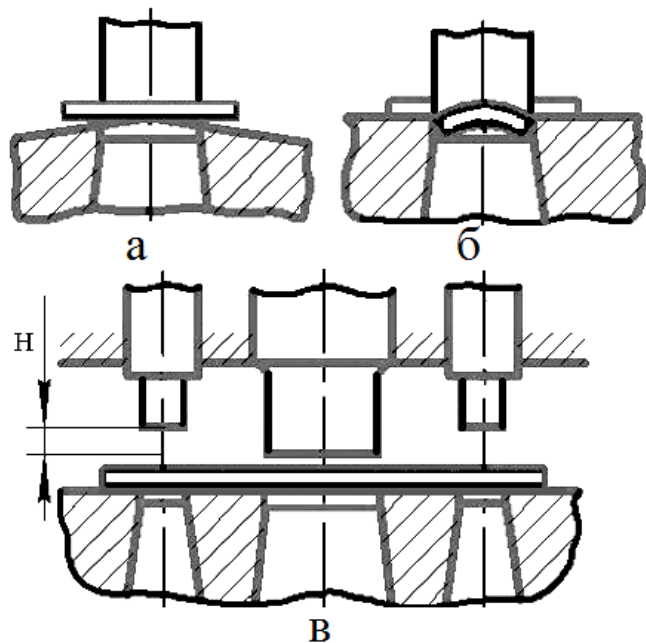


Рис. 7.3. Способи зменшення зусиль при вирубці

7.1.3. Гнуття та профілювання

Гнуттям зветься процес зміни форми заготовки під дією сил, прикладених в одній або декількох площинах, розміщених під заданим кутом одна до іншої. Зона деформації в процесі гнуття обмежується відрізком (ділянкою), близько розміщеним до контактних поверхонь, і займає порівняно невелику частину об'єму заготовки.

З рис. 7.4, б видно, що при гнутті внутрішній шар матеріалу здавлюється, а зовнішній – розтягується. На нейтральній лінії матеріал сприймає нульові напруження. Чим більша відстань радіусної поверхні від нейтральної лінії, тим більші напруження.

Гнуття виконують як у холодному, так і в гарячому стані, за допомогою пуансонів, плит або валків, які мають округлені поверхні з радіусами, що в декілька разів перевищують товщину заготовки. Гнуття в холодному стані допускається при напругах, які не викликають руйнування матеріалу.

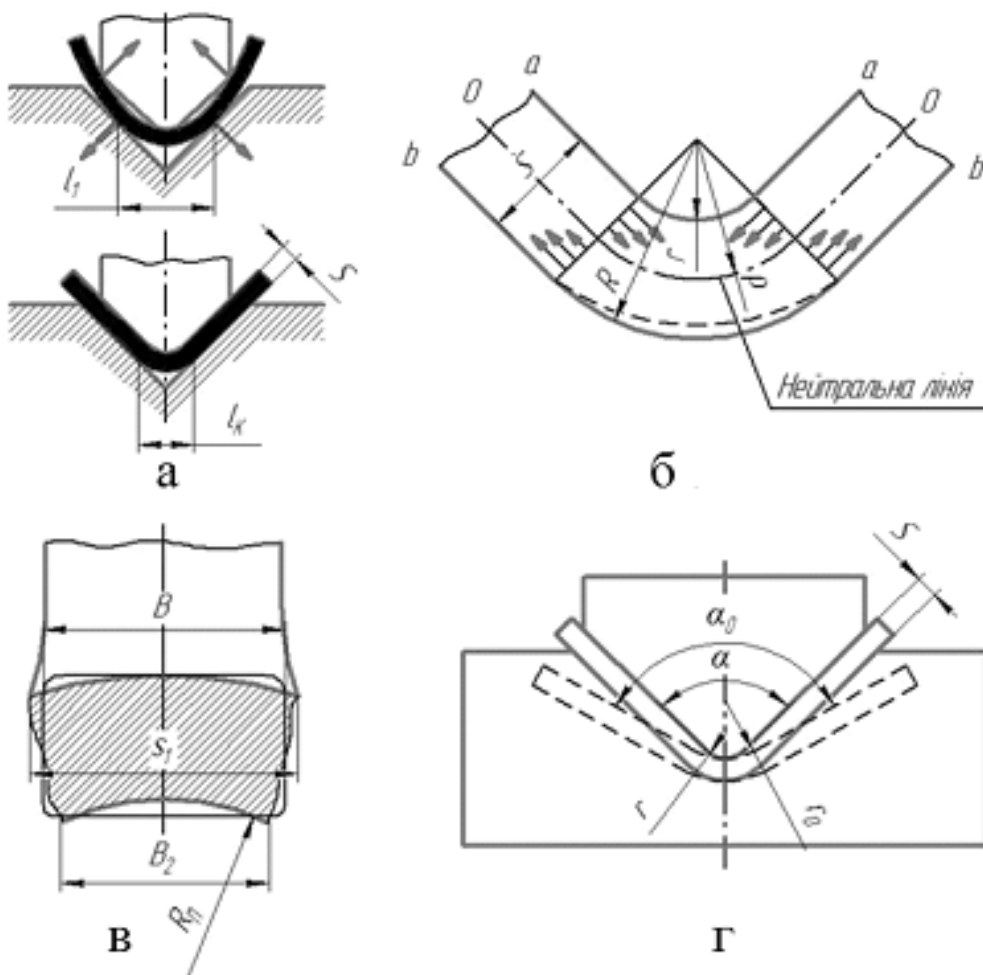


Рис. 7.4. Схеми процесу згинання в штампах

Радіус гнуття. Можливість виникнення тріщини на зовнішньому радіусі згинання збільшується зі зменшенням радіуса згинання, а також зі збільшенням кута гнуття. Мінімальні внутрішні радіуси гнуття в долях товщини матеріалу в залежності від стану матеріалу наведені в таблиці 7.1.

У загальному випадку для пластичних загартованих матеріалів радіус гнуття коливається в межах $(0,3-2) \delta$, а для відпалених $(0,1-0,6) \delta$.

Мінімальний радіус гнуття R_z визначається з умов, при яких найбільша деформація розтягнутого волокна викликає напруги, які не перевищують $0,8[\sigma_s]$ – (σ_s – межа міцності при розтягуванні). При збільшенні кута гнуття мінімальний радіус помножують на коефіцієнт K_z :

- $90^\circ > \alpha > 60^\circ - K_z = 1,1-1,3$;
- $60^\circ > \alpha > 45^\circ - K_z = 1,3-1,5$;
- $45^\circ > \alpha - K_z = 1,5$ і більше.

При наявності на зовнішній поверхні концентраторів напруг у вигляді задирок $K_z = 2,2-3,0$.

Таблиця 7.1

Мінімальні радіуси гнуття листового прокату

Матеріал	Мінімальний R_z , мм	
	загартований	відпалений
Сталь 15, 20, Ст.3	0,5 – 1	0,1 – 0,5
Сталь 25, 30, Ст.4	0,6 – 1,2	0,2 – 0,6
Мідь	1,0 – 2,0	0,2 – 0,4
Алюміній	0,3 – 0,8	0,3 – 0,45
Нержавіюча сталь	1 – 2	-- -- -- --

Кут пружинення. Тому, що при гнутті в холодному стані в матеріалі виникають як пластичні, так і пружні деформації, радіус і кут гнуття готової деталі (рис. 7.4, г) завжди більші від радіуса і кута гнуття інструмента. Величина кута пружинення $\alpha_{II} = \alpha_0 - \alpha$ залежить від властивостей матеріалу, від кута гнуття, від відношення радіуса гнуття до товщини матеріалу (R_z/δ), а також від умов виконання гнуття.

Розрізняють гнуття вільне і гнуття з калібруванням. Гнуття з калібруванням виконується часто з деяким потоншенням стінок заготовки, потребує значно більших зусиль гнуття, ніж вільне, і дозволяє отримати мінімальні кути пружинення. У літературі наведені формули для розрахунку кутів пружинення, середні значення яких складають $2 - 6^\circ$.

Для зменшення радіуса гнуття, кута пружинення і потужності обладнання, необхідного для гнуття, застосовують гаряче гнуття.

Профілювання. Профілюванням зветься отримання з листових заготовок жорстких і легких профілів шляхом видавлювання ребер жорсткості (зигів). При цьому маса заготовки не змінюється, а її жорсткість може бути збільшена в багато разів.

Профілювання заготовок виконується на штампах або спеціальних роликових зиговочних машинах. Перший спосіб застосовується при виготовленні невеликих деталей типу кришок, боковин ящиків, тонкостінних кожухів у МВ і ВСВ. Другий спосіб застосовується при виготовленні великогабаритних і довгих деталей, а також в ОВ і МСВ.

Якщо гнуття на стрічці виконується не в напрямі подачі, а в поперечному, то це процес *гофрування*. Наприклад, як при пропусканні заготовки між роликами у вигляді шестерень.

7.1.4. Гнуття труб

Труби широко застосовуються при виготовленні хімічних машин і апаратів і трудомісткість їх гнуття відносно велика.

У процесі гнуття на внутрішній стороні труби під впливом сил стискання можуть виникати складки (рис. 7.5); зовнішня сторона, навпаки, розтягується, що приводить до потоншення стінки. Зусилля гнуття приводять до сплющування перерізу А-А труби і зменшення площі її поперечного перерізу. Величина цих деформацій різко зростає зі зменшенням товщини стінки, тому найтрудніше гнути тонкостінні труби.

Тонкостінними називають труби, у яких товщина стінки $\delta \leq 0,06 D$ зовнішнього діаметра труби.

Гнуття труб можна виконувати як у холодному, так і в гарячому стані.

Для попередження утворення дефектів застосовують різні способи, які дозволяють підтримувати стінки труби з внутрішньої сторони. Найчастіше трубу заповнюють сипучим або легкоплавким матеріалом (піском, свинцем, каніфоллю тощо), а торці труби щільно закривають металевими або дерев'яними пробками. Крім того, при гнутті труб на трубозгинальних верстатах застосовуються спеціальні калібрувальні пробки – дорни (рис. 7.6): а – ложкоподібний дорн; б, в – кульовий дорн. Дорн перед згинанням вводиться в трубу на таку глибину, щоб він підтримував стінки при згинанні навколо згинального сегмента.

Звичайно, для сталевих труб мінімальний радіус холодного згинання повинен бути не меншим 20-ти товщин стінки. Мінімальний радіус згинання може бути значно зменшений при нагріванні заготовок. Нагрівання можна виконувати відкритим полум'ям горілок або

індукційним струмом. Труби з пластмас нагрівають у рідких ваннах з температурою 100–200 °С.

Для згинання труб застосовують спеціальні трубозгинальні верстати (рис. 7.7).

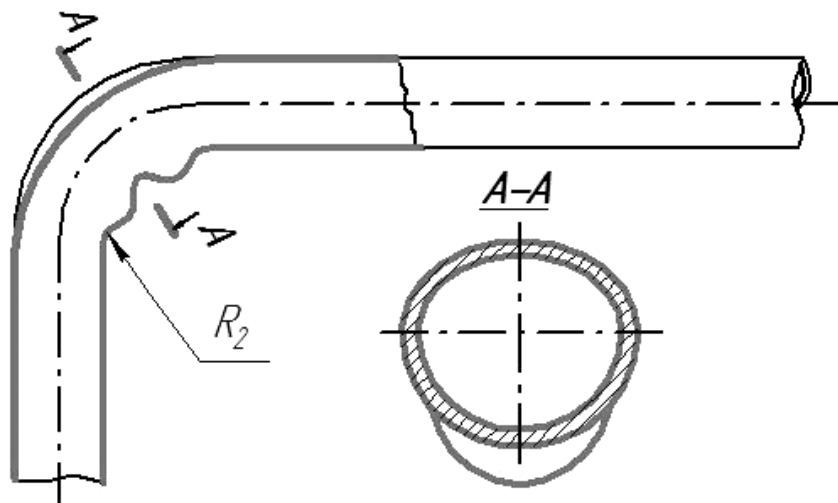


Рис. 7.5. Дефекти, які утворюються при згинанні тонкостінних труб

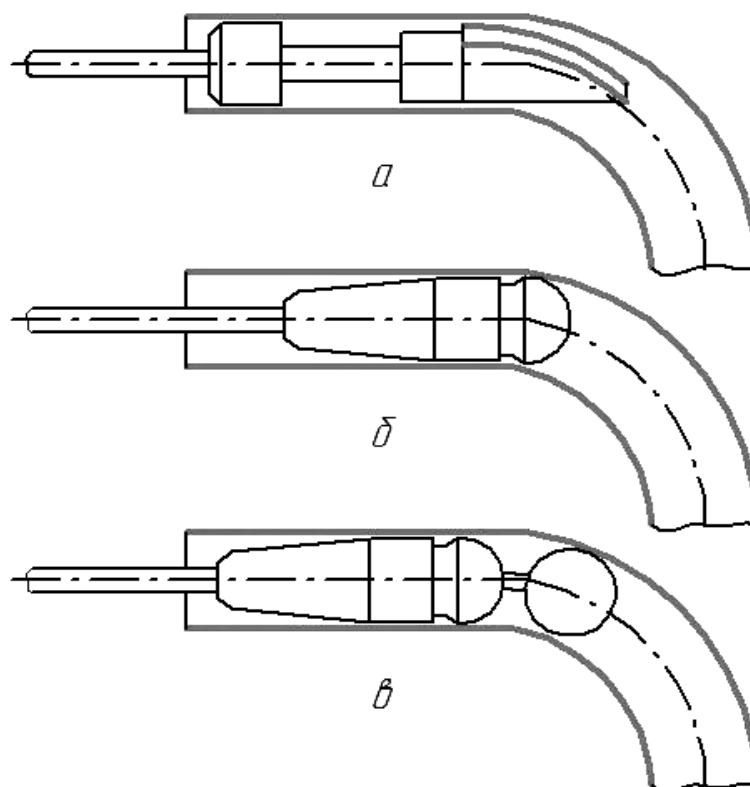


Рис. 7.6. Схеми згинання труб з застосуванням пробок

7.1.5. Обладнання для гнуття

Вигинання заготовок можна виконувати вручну, проте якість і продуктивність машинного гнуття значно вищі. Машинне гнуття, в залежності від радіуса згинання і форми заготовки, може виконуватись на різних верстатах: пресах, кромкозгинальних верстатах, роликових машинах, трубозгинальних верстатах.

Гнуття на пресах. Для гнуття використовують преси різних конструкцій: кривошипні, ексцентрикові, фрикційні і гідравлічні. Гнуття виконується в штампах, пуансон і матриця яких мають профіль, що відповідний до профілю деталі. У малосерійному хімічному виробництві раціонально застосовувати гнуття, а також вирубку, за допомогою переналагоджуваних штампів поелементного штампування.

Зусилля гнуття можна визначити за емпіричними формулами: при однокутовому вигинанні (рис. 7.4, а) за формулою:

$$P = 0,6 \frac{l \delta^2 \sigma_s}{R_z + \delta}, H;$$

а при вигинанні скоби –

$$P = 0,7 \frac{l \delta^2 \sigma_s}{R_z + \delta}, H,$$

де: l – ширина виробу, що вигинається, мм;

δ – товщина матеріалу, мм;

σ_s – границя міцності при розтягуванні, Н/мм²;

R_z – радіус гнуття, мм.

При вигинанні з притисненням або калібруванням, зусилля значно перевищує зусилля гнуття.

Кромкозгинальні верстати (рис. 7.8). Заготовка встановлюється на нерухомій плиті 2 і притискується до неї притискною траверсою 3 гвинтами або гідравлічно. Торець притискної траверси закруглений за радіусом гнуття. Рухомі траверси 8, повертаючись за допомогою зубчастого сектора навколо осі обертання 5, вигинає заготовку на заданий кут. У технічній характеристиці кромкозгинальних верстатів указується максимальна ширина листа, його товщина, найбільший кут повороту рухомої траверси, потужність електродвигуна.

Роликові згинальні верстати. У роликових згинальних верстатах заготовка пропускається між двома роликами, котрі примусово обертаються в різні сторони. Заготовка зтягується силою тертя і деформується у відповідності з профілем роликів. Для виготовлення складних, навіть закритих профілів, застосовують багатороликові верстати.

Трубозгинальні верстати (рис. 7.7). Основними вузлами верстата є такі: поворотний опорний сектор 5 з затискним механізмом 8, котрий закріплює трубу в канавці сектора, який має канавку за формою зовнішнього діаметра труби; нерухомий притискний механізм 7, котрий в процесі гнуття притискає заготовку труби до сектора.

Перед гнуттям трубу вставляють у канавку сектора 5 і закріплюють її в секторі затискним механізмом 8. Після підтискують ролик або сухар нерухомого притискного механізму 7 до дотику з трубою. Включають механізм повороту сектора по годинниковій стрілці. Труба як би обкатується навколо сектора і вигинається на необхідний кут. До верстата надається набір змінних секторів різних діаметрів з різними формами канавок.

Для товстостінних труб одночасно з операцією гнуття необхідно підігрівати заготовку до температури розм'ягчення металу. Для цього безпосередньо перед згинальним сектором установлюють високо-частотний індуктор (2000-3000 Гц).

Нагріта труба при згинанні не сплющується, навіть якщо її не заповнюють піском. У технічній характеристиці трубозгинального верстата указується: найбільший кут

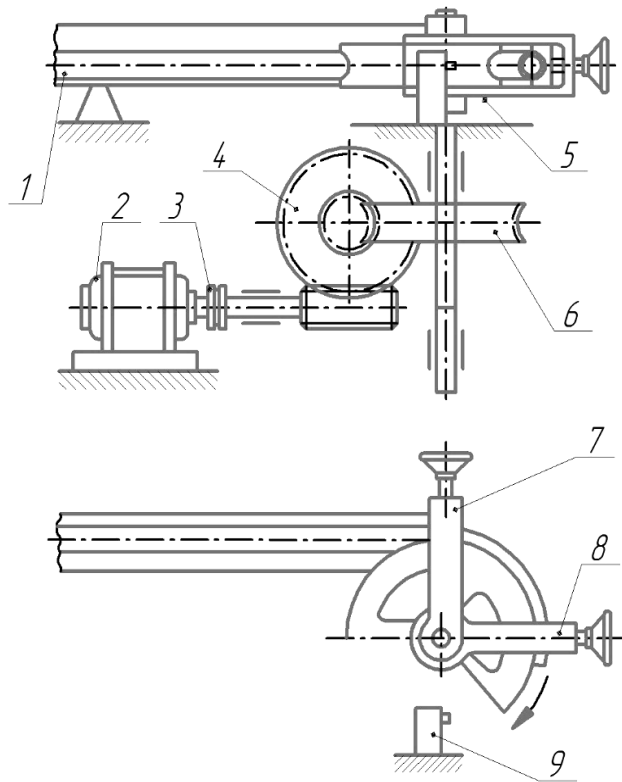


Рис. 7.7. Схема роботи трубозгинального верстата

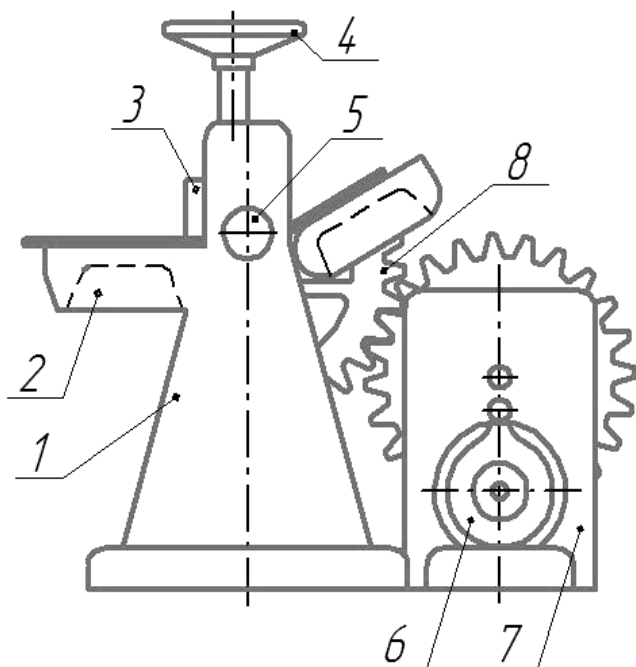


Рис. 7.8. Схема роботи верстата для згинання кромки

згинання труби, її діаметри, радіуси згинання тощо.

Розміри плоских заготовок при згинанні визначають за формулами

$$\ell_3 = \sum \ell_{\text{пр}} + \frac{\pi\alpha}{360} R_{\text{н.л}} \approx \sum l_{\text{пр}} + 0,0175(R_z + 0,5\delta)\alpha,$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина прямих відрізків; $R_{\text{н.л}}$ – радіус нейтральної лінії;

R_z – радіус гнуття; δ – товщина матеріалу, мм; α – кут гнуття, град.

7.1.6. Вальцювання

Вальцювання є одним із видів гнуття, при якому деформується весь об'єм заготовки. Звичайно вальцюванням виготовляють тіла обертання: труби, обичайки, напівобичайки, конуси, кільця, бандажі та інші деталі, які мають постійний радіус кривизни на всій довжині згинання. Вальцювання можна виконувати на згинальних машинах або вальцях.

На згинальних машинах, наприклад кромкозгинальному верстаті (рис. 7.9), гнуть труби і обичайки малих діаметрів. Для цього заготовку з плоского листа за декілька установів обгинають навколо опорного валика. Діаметр гнутої заготовки не може бути меншим від діаметра опорного ролика.

Вальці за розміщенням осі інструмента (валиків або роликів) можуть бути горизонтальними або вертикальними. Найпростішою горизонтальною вальцювальною машиною є трюхвалкові вальці (рис. 7.10). У цих машинах обертання надається двом нижнім валкам 5, котрі за рахунок сил тертя переміщують лист між валками. Верхній валок 3, який вільно обертається, може переміщуватися у вертикальному напрямі, створюючи цим різний радіус гнуття – чим нижче опущений валок, тим менший радіус гнуття.

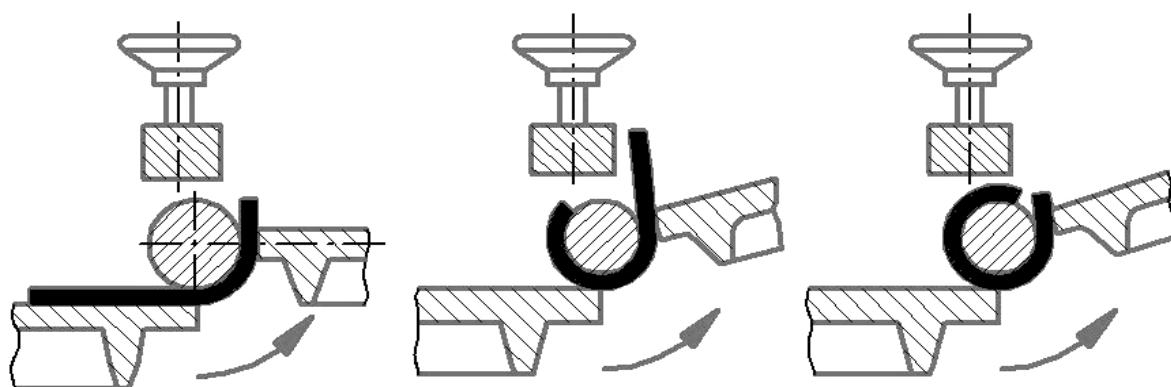


Рис. 7.9. Схема вальцювання труб малого діаметра за три переходи

Вальцювання можна виконувати за декілька переходів, поступово опускаючи верхній валок до тих пір, поки не отримаємо циліндричну деталь з необхідним зазором на стику або без нього. Радіус кривизни можна також розрахувати аналітично. Верхній валок має опору, яка відводиться від нього в сторону, що дозволяє знімати виріб з вальців. Для вальцювання конусів за допомогою спеціального механізму верхній валок виставляється під кутом до нижніх.

При згинанні на трьохвалкових вальцях у деталей залишається плоска стрічка, що є суттєвим недоліком. При виготовленні обичайок (рис. 7.11) на чотирьохвалкових вальцях ширина плоскої стрічки не перевищує однієї-двох товщин матеріалу. У чотирьохвалкових вальцях рух приводу отримують два центральні валки, а бокові валки формують профіль заготовки. На горизонтальних вальцях виготовляють довгі деталі типу труб, обичайок, циліндрів і т.п.

А). *Перекося кромки* – отримують у випадку, коли не видержується паралельність торцевої кромки листа і осей валків під час установа листа у вальцях. Для усунення цього дефекту можна застосувати направляючі лінійки.

Б). *Перегиб* на менший радіус і напуста одержуються

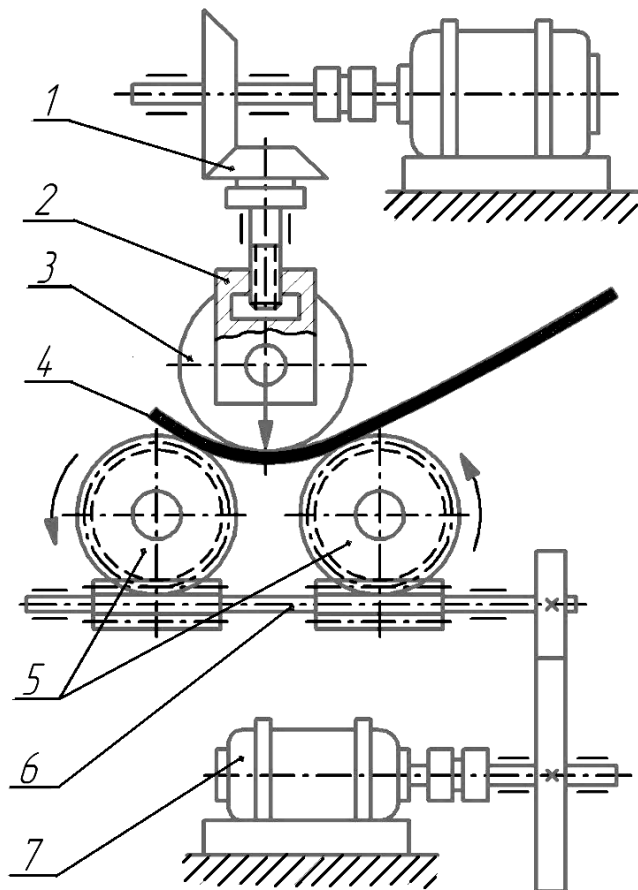


Рис. 7.10. Кінематична схема трьохвалкових вальців

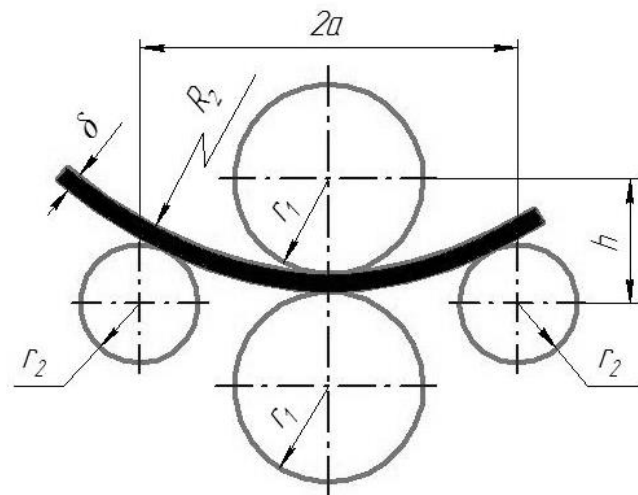


Рис. 7.11. Взаємне розташування валків при згинанні на чотирьохвалкових вальцях

при завишеному зближенні осей рухомого і нерухомих роликів. Щоб уникнути цього, вальцювання необхідно виконувати за декілька переходів, поступово зближуючи осі роликів і перевіряючи радіус гнуття за величиною зазору на стику.

В). *Конусність* виникає в наслідок непаралельності осей валків.

Г). *Бочкоподібність* виникає при надзвичайно великому тиску на валки, що викликає їх вигинання.

Для виключення овальності остаточні переходи виконують при постійній відстані між осями валків.

Розмір розвертки заготовки обичайки визначають за формулою –

$L = \pi D_{CP} \pm h$, де D_{CP} – середній діаметр обичайки ($D_{CP} = D_{BH} + \delta$, або $D_{CP} = D_{ЗОВН} - \delta$), h – величина зазору для зварювання або напуски для паяного шва, δ – товщина матеріалу.

На вертикальних згинальних машинах (вальцях) звичайно гнуть прокат різних профілів, кутову сталь, штабовий прокат тощо (рис. 7.12).

Ролики вертикальних вальців кріпляться консольно і часто мають фасонний профіль. Вальцювання прокату виконують у холодному або гарячому стані. На вертикальних вальцях гнуть кільця, бандажі, фланці, бортшайби та інші деталі.

При виготовленні найбільш розповсюджених в апаратобудуванні деталей-обичайок, можливі наступні види браку (рис. 7.13).

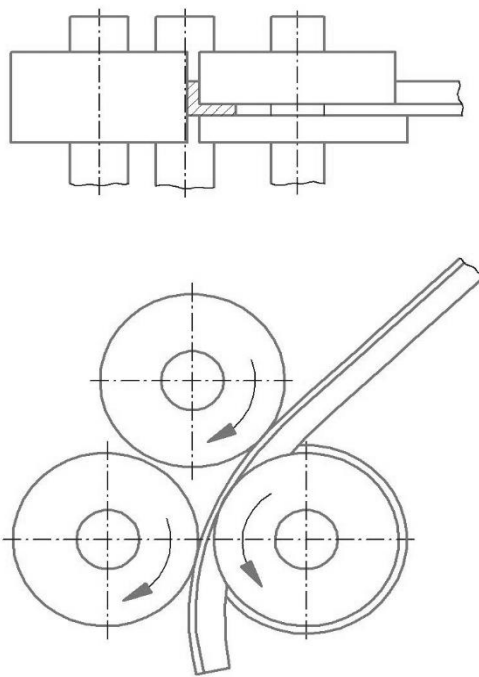


Рис. 7.12.Схема згинання кутика на вертикальних згинальних вальцях

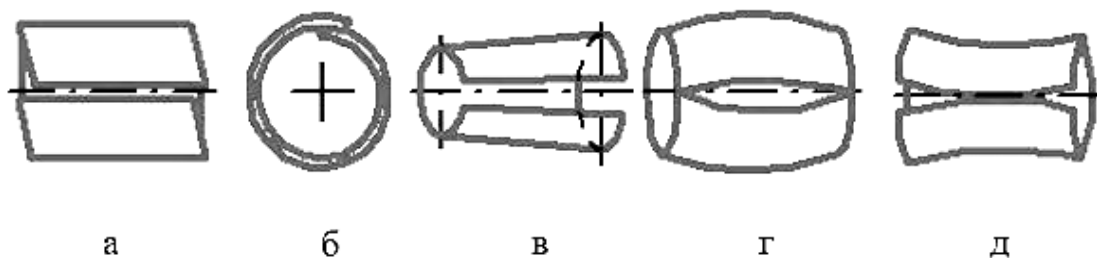


Рис. 7.13. Дефекти, які утворюються при неправильному згинанні обичайок на вальцях

7.1.7. Обкатка та витяжка

Обкатка – це процес отримання з плоскої заготовки виробів, які мають форму тіл обертання, за допомогою давитьників, що переміщуються уздовж твірної заготовки. Поступовою обкаткою з проміжними відпалами з плоскої заготовки на токарному, давитьному або карусельному верстаті отримують циліндричну заготовку з дном, типу стакана (рис. 7.14). Після одержання циліндричної заготовки, окремі елементи, в залежності від заданої форми, можуть оброблюватися шляхом відгинання (а), обтискання (б), розвальцьовування (в), зиговки (г).

Критеріями величини відносної деформації при відгинанні і розвальцьовуванні є відношення найбільшого діаметра готової деталі до внутрішнього діаметра труби або обичайки $D_{зовн} / D_{заг} \leq 1,25-1,3$.

Витяжкою називається процес отримання з плоскої заготовки порожнистого тіла, відкритого з одного боку. Витяжку виконують на пресах, в штампах або спеціальних пристроях.

Витяжка на пресах може бути виконана без потоншення або з потоншенням стінки. У першому випадку між пуансоном і матрицею зазор більший від товщини матеріалу заготовки, у другому – складає від 0,3 до 0,8 товщини матеріалу заготовки, що приводить до зменшення товщини заготовки і збільшення площі її поверхні. Витяжка з потоншенням стінки потребує більших зусиль і її застосовують для виготовлення деталей з пластмас та кольорових металів (алюміній, мідь, латунь). Витяжку в апаратобудуванні переважно застосовують без потоншення стінки.

У залежності від матеріалу, потрібної глибини і діаметра деталі, застосовують декілька способів витяжки:

- *витяжка на пресах готових через протяжне кільце – матрицю* за один хід пуансона без застосування притискача деталей (рис. 7.15);
- *витяжка на пресах з застосуванням притискача*, що забезпечує менше гофрування металу і вищу якість деталі;
- *глибока витяжка*, яка виконується за декілька переходів з застосуванням проміжних відпалів, при яких поступово збільшується висота виробу за рахунок зменшення його діаметра;
- *гідравлічна витяжка* (рис. 7.16) і *витяжка гумою*;
- *витяжка вибухом*.

При гідравлічній витяжці і витяжці гумою, одна частина штампа (пуансон або матриця) виготовляється з металу, а інша – замінюється робочою рідиною, яка подається під тиском 40 МПа, або гумовою подушкою, яка обтискає пуансон. Ці способи застосовують при виготовленні тонкостінних деталей.

При витяжці вибухом робочий тиск створюється не робочою рідиною, а стисненими газами, одержаними в результаті строго розрахованого вибуху. Завдяки дуже великій швидкості розповсюдження вибухової хвилі і відсутності тертя об пуансон, можна отримувати дуже глибоку витяжку і такі деталі майже не зазнають внутрішніх напруг, тобто не потрібний відпал.

Мірою величини деформації при витяжці є коефіцієнт витяжки, який дорівнює відношенню зовнішнього діаметра отриманого виробу до діаметра заготовки – $K = D_{\text{зовн}} / D_{\text{заг}}$. Величина коефіцієнта витяжки залежить від механічних властивостей матеріалу, його товщини, розміру виробу, геометрії штампа.

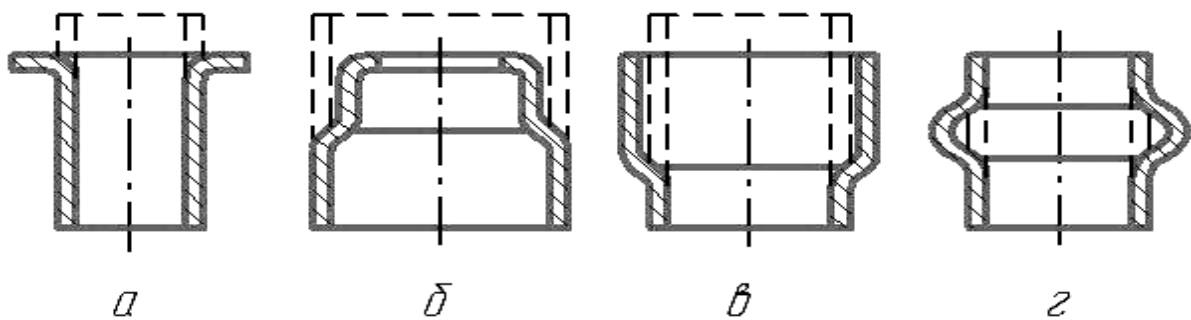


Рис. 7.14. Різні види обкатки

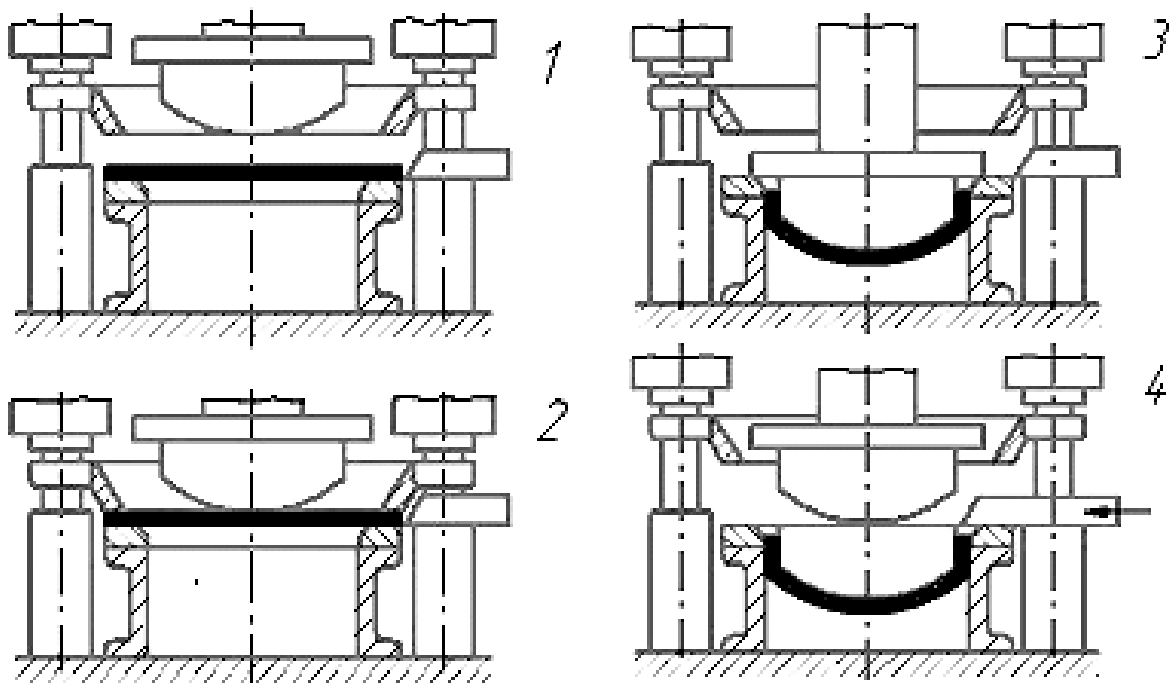


Рис. 7.15. Схема процесу витяжки днища за стадіями

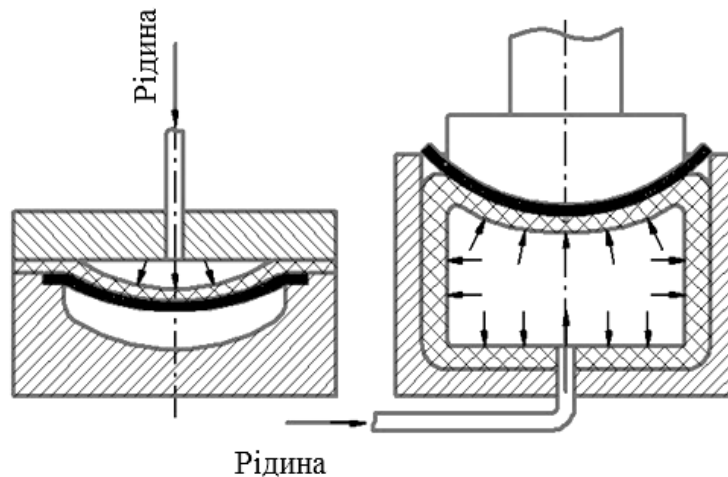


Рис. 7.16. Різні схеми гідравлічної витяжки

При витягуванні виробів з конструкційних і нержавіючих сталей, міді, латуні, алюмінію коефіцієнт першої витяжки дорівнює 0,5–0,65, а наступних – 0,75–0,85.

Витягування обов'язково виконують при рясному змащуванні густими мастилами, які включають баранячий жир, риба́чий жир, веретенне масло, графіт, сірку, зелене мило, воду, мазут, гас, крейду, каніфоль та інші компоненти.

Найчастіше витяжку виконують на гідравлічних пресах подвійної дії. На витяжних пуансонах передбачають радіуси закруглення $R = (5 - 10)\delta$, а вхідну частину матриці виконують конічною.

Витяжка широко застосовується при штампуванні днищ невеликих ємностей, ковпаків тощо. Після витяжки, в результаті не однакових умов деформування різних частин заготовки, краї виробу отримуються нерівними і їх необхідно обрізувати. Розміри вихідних заготовок визначають за формулами, наведеними в додатковій літературі.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. За якими технологічними призначеннями класифікують хімічні апарати?
2. Вимоги до конструкції хімічних апаратів і застосовуваних матеріалів?
3. Як здійснюють вирубку і просікання отворів в листових матеріалах?
4. Як здійснюють згинання листового матеріалу і особливості процесу?
5. Як виконують згинання труб, можливі дефекти і шляхи їх виправлення?
6. Яке обладнання застосовують для гнуття листов і труб?
7. Як проводять вальцювання листового прокату і типи вальців?
8. У чому сутність витяжки та обкатки для виготовлення тонкостінних деталей, та характеристики процесів?

7.2. Зварювання машин та апаратів

7.2.1. Загальні положення

Зварювання – це технологічний процес отримання нерознімних з'єднань різних матеріалів. Зварювання застосовують для з'єднання однорідних та різнорідних металів та сплавів, а також пластмас.

У машинобудуванні зварювання найширше застосовують для виготовлення конструкцій з листового прокату (ємності, обшивки, об'ємні конструкції), з труб та профільного прокату (ферми, стояки, стріли кранів, рамні конструкції).

За технологічними ознаками зварювання розділяють на зварювання з тиском – пластичне, та зварювання без тиску – плавленням.

Зварювання тиском розділяється на зварювання без застосування нагрівання (холодне зварювання); зварювання з нагріванням без оплавлення (контактне стикове зварювання опором, газопресове зварювання); зварювання з нагріванням до оплавлення (контактне стикове зварювання з оплавленням).

Зварювання без тиску (плавленням) розділяється на зварювання з розплавленням основного металу (електродугове, газове зварювання) та зварювання без оплавлення основного металу, але з розплавленням присадного металу (тобто паяння).

Застосовують такі способи зварювання: дугове ручне, автоматичне дугове під флюсом, дугове в захисних газах (аргон, гелій), атомно-водневе (в струмені водню, що попереджує окислення шва), електрошлакове, контактне, ацетилено-кисневе, газопресове, термітне, тертям, вибухом, пічне, холодне пресове, індукційне, дифузійне, електронно-променеве, ультразвукове та лазерне.

Добре зварюються маловуглецеві сталі ($C < 0,25 \%$), низьколеговані сталі з низьким вмістом вуглецю та нікелеві сталі. Зварювання високовуглецевих, середньо- та високолегованих сталей викликає певні труднощі.

Зварювання мідних та алюмінієвих сплавів ускладнене через високу теплопровідність та легку окислюваність, внаслідок чого утворюються тугоплавкі оксидні плівки, і потребує застосування флюсів.

Зварюваність сталей різних марок така:

- добра (Ст0, ..., Ст3; 0,8, ..., 25; 15Г, 20Г);
- задовільна (Ст4, Ст5; 30; 30Г; 15Х та інших);
- обмежена (Ст6; 35, 40, 45; 20Х, ..., 45Х; 40Г та інших);
- погана (Ст7; 50, ..., 65; 50Х; 35ХС; 35ХМ та інших).

При виборі способу зварювання необхідно враховувати наступне:

- *характер (тип) виробництва* (при МВ, ВСВ та ССВ застосовують автоматичне та механізоване зварювання; при ОВ та МСВ – ручне);
- *продуктивність процесу* (за продуктивністю різні види зварювання розміщуються в такій послідовності: контактне, електродугове, автоматичне, електродугове автоматичне, електродугове ручне, газове);
- *характер зварювальних робіт* (при ремонтних та монтажних роботах застосовують ручне дугове та газове зварювання; для наплавочних робіт – автоматизоване дугове та газове зварювання);
- *хімічний склад та фізико-механічні властивості зварюваного металу* (не усі метали однаково зварюються різними способами, наприклад: для маловуглецевої сталі можна з успіхом користуватись усіма способами зварювання; чавун зварюється переважно газовим, рідше електродуговим зварюванням; зварювання тиском для чавунів не застосовується; кольорові метали зварюють, користуючись, переважно, способом газового зварювання; паянням з'єднують більшість металів та сплавів у різних сполученнях);
- *переріз (товщину) зварюваного металу* (газовим зварюванням економічно вигідно зварювати тонкі деталі товщиною до 2 мм; точкове та шовне (роликове) зварювання застосовують для заготовок обмеженої товщини; для сталевих заготовок великої товщини застосовують автоматичне електродугове зварювання під флюсом та ванно-шлакове зварювання; для стержневих деталей та труб застосовують стикове зварювання).

7.2.2. Види зварних з'єднань

Основні види зварних з'єднань (швів) дуговим та газовим зварюванням такі: стикові – С, кутові – У, з'єднання з напуском – Н, таврові – Т.

Кутові шви трикутного профілю (рис. 7.17) виконують прямими (а), опуклими (б) та угнутими (в).

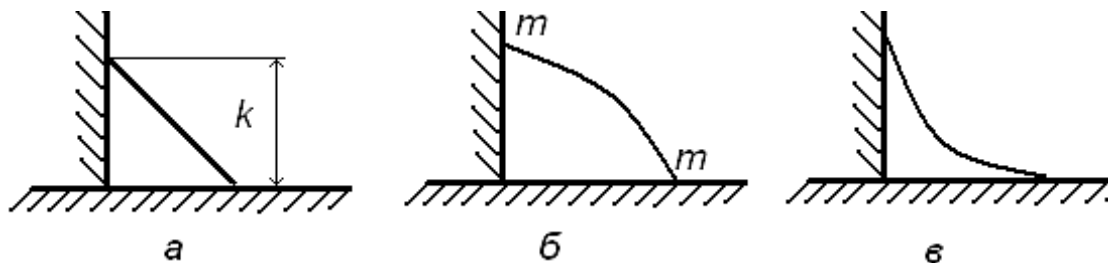


Рис. 7.17. Види кутових швів

Найчастіше застосовують прямі (нормальні) шви. Випуклі шви (б), котрі умовно називають швами з підсиленням, схильні до утворення підрізів (непровари на ділянках m з'єднання шва зі стінками деталей) і мають понижений опір втомлюваності. Найміцніші угнуті шви (в), але їх важко виконувати.

Форму розчищення кромки та їх складання під зварювання характеризують (рис. 7.18) чотири основних конструктивних елементи: зазор b , притуплення c , кут β скошу кромки та кут α розчищення кромки, який дорівнює β або 2β .

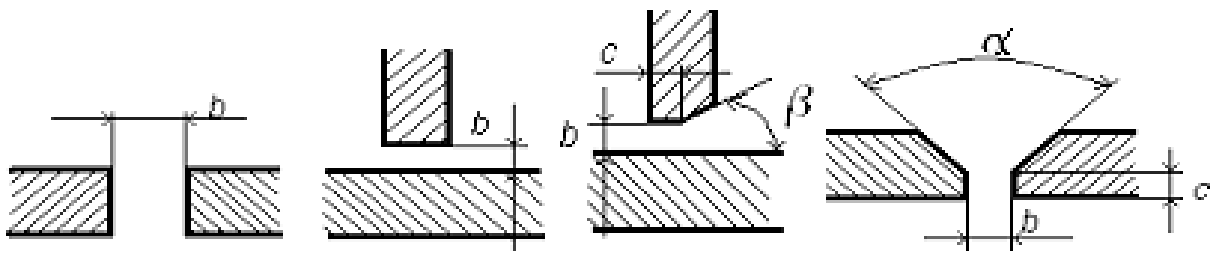


Рис. 7.18. Форми розчищення кромки

Основною розмірною характеристикою кутових швів є розрахунковий катет k .

Катет швів з'єднань з напуском при зварюванні тонких листів (менше 4 мм) виконують рівним товщині S листів (рис. 7.19, а). Для матеріалів більшої товщини (4-16 мм) катет шва визначають за формулою

$$k = 0,4 S + 2, \text{ мм.} \quad (1)$$

При зварюванні матеріалів різної товщини (б, в), катет шва виконують рівним товщині S більш тонкого матеріалу, але не більшим ніж за ф. (а).

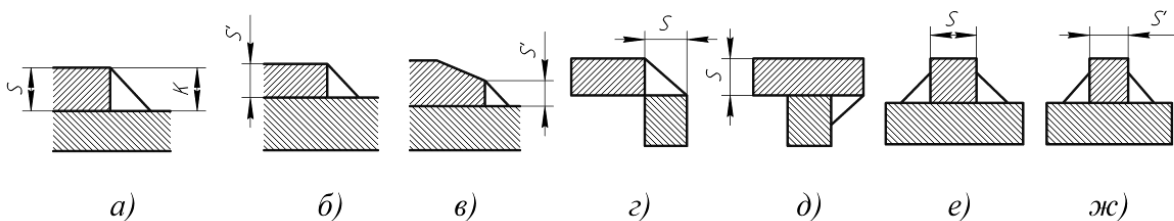


Рис. 7.19. Розміри швів трикутного профілю

У кутових з'єднаннях з однаковою товщиною стінок (г) розмір катета заданий товщиною кромки.

У кутових та таврових з'єднаннях (д, е), де розміри шва можуть бути довільними, катет шва роблять рівним товщині S зварюваних матеріалів,

але не більшим від значень, визначених за ф. (а). При тавровому з'єднанні матеріалів різної товщини (ж) катет шва роблять рівним товщині S більш тонкого матеріалу.

Серед різних видів з'єднань (рис. 7.20, а, б) найбільш простими та міцними є стикові. Недолік з'єднань з напуском (в, д) у тому, що під дією розтягуючих або стискаючих сил вони піддаються дії згинального моменту, рівного добуткові діючої сили на суму напівтовщин зварюваних листів і деформуються (г, е). Продуктивність зварювання через наявність двох швів нижча, а маса вища від стикових.

Шви з напуском можна зміцнювати додатковим проварюванням (ж) або накладками (з).

Різномовидність з'єднань з напуском з прорізними та проплавленими швами (рис. 7.21) трудомістка і неякісна (електрозаклепки) і застосовується дуже рідко.

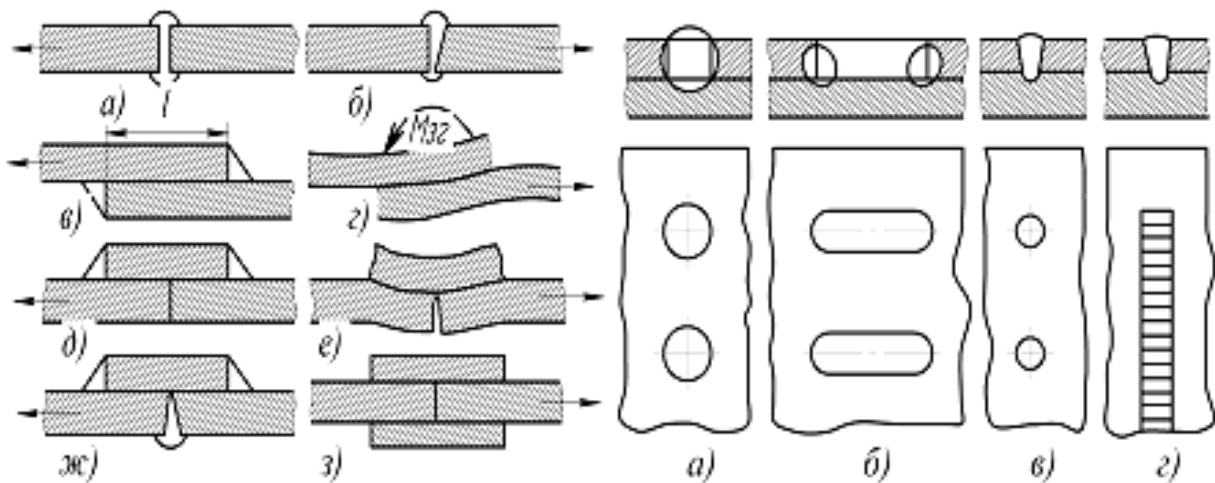


Рис. 7.20. Схеми роботи з'єднань з напуском

Рис. 7.21. З'єднання: а, б – прорізні; в, г – проплавлені

Кромки зварюваних тонких листів, товщиною до 3 мм, стикових та кутових з'єднань розчищають згинанням (рис. 7.22, а, і).

Кромки листів товщиною до 8 мм при ручному дуговому зварюванні і до 20 мм при автоматичному роблять прямими, перпендикулярними до площини листа. Для проварювання на повний переріз зварювані деталі збирають з зазором $t = 1-2$ мм (б, к), який при зварюванні заповнюється рідким металом.

При більшій товщині необхідне розчищення кромки, яке найчастіше вимагає оброблення фасок, з метою створення зварювальної ванни і забезпечення проплавлення металу на повний переріз деталей.

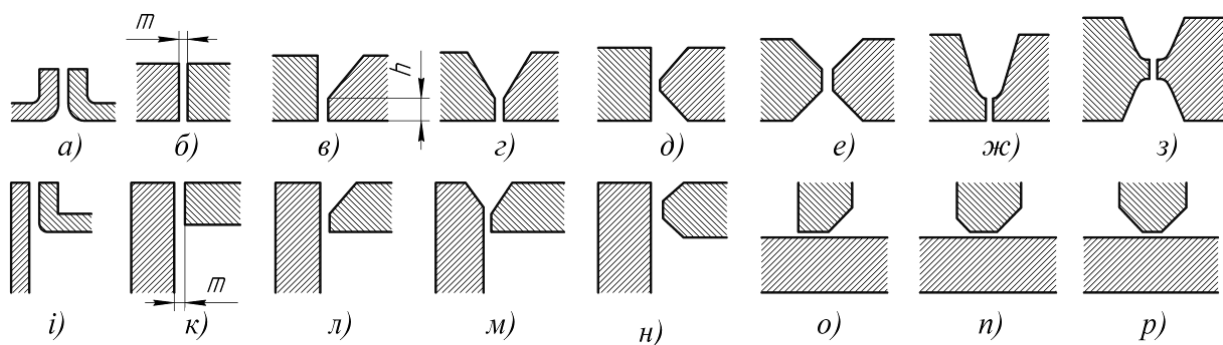


Рис. 7.22. Оброблення кромки

Основні типи розчищення кромки наведені на: в – з – для стикових з'єднань, л – н – для кутових та о – р – для таврових. Гострі кромки притупляють, передбачивши на них стрічки висотою $h = 2\text{--}4$ мм (в). Кругові фаски отримують точінням, прямі – фрезеруванням та струганням. При товщині кромки 15–20 мм фаски знімають автоматичним газовим різанням.

7.2.3. Міцність зварних швів та шляхи її підвищення

Міцність зварних швів (ЗШ), звичайно, нижча від міцності суцільного матеріалу (складає $\sim 50\text{--}100\%$), внаслідок литої структури шва з характерними для литого металу дендритними та стовпчастими кристалітами.

Міцність та в'язкість зварного шва знижується внаслідок потрапляння шлаків, утворення пор та газових бульбашок, тріщин, а також від хімічних та структурних змін у матеріалі шва (вигорання легуючих елементів, утворення карбідів, оксидів, нітридів). Насичення зварного шва азотом повітря, навіть у невеликій кількості, викликає різке зниження пластичності і підвищення крихкості шва. При збільшенні вмісту азоту у шві від 0 до 0,2 %, відносне подовження $\delta\%$ знижується від ~ 30 до 2,5 %, а σ_b збільшується \sim у 2–2,5 рази.

У зварному шві та навколошовній зоні виникають внутрішні напруження, що викликають жолоблення виробу. Ці напруження обумовлені усадкою матеріалу при охолодженні. Зниження міцності невелике у виробів з маловуглецевих сталей, пластичність котрих запобігає появленню внутрішніх напруг, і не має великого значення для конструкцій, які працюють при статичному навантаженні, але відчутні в циклічно навантажених конструкціях, особливо з високоміцних сталей, чутливих до концентрації напруг.

Для запобігання хімічним змінам у матеріалі шва зварювання виконують під розплавленим флюсом або в атмосфері нейтральних та відновних газів.

Зварювання викликає жолоблення виробів тим сильніше, чим більша зона термічного впливу зварювання (наприклад, при газовому зварюванні) і чим більша протяжність та переріз швів.

Жолоблення зменшують зварюванням виробів у жорстких пристроях особливими прийомами накладання шва (переривисті, багат шарові, багатопрохідні, симетричні, ступінчасті шви). Знімає поведку стабілізуюча термічна обробка після зварювання (низький відпал при 600–650 °С).

Механічні властивості зварного шва залежать від технології та режимів зварювання, особливо ручного. Відповідальні зварні шви контролюють за допомогою методів магніто-, рентгено- та гамма дефектоскопії. Найбільш чутливий та точний ультразвуковий контроль.

Міцність зварних з'єднань підвищують конструктивними (раціональне розміщення швів відносно діючих сил) і технологічними (захист шва від шкідливих впливів при зварюванні, термічна обробка, зміцнююча обробка холодною пластичною деформацією) прийомами.

7.2.4. Конструктивні та технологічні методи підвищення міцності зварних швів

На видах 1–3 (рис. 7.23) показано послідовне зміцнення вузла приварки фланця, навантаженого $M_{кр}$, збільшенням діаметра кільцевого шва. Опір зсуву (пропорційно квадратові діаметра) в конструкції 2 у 7 разів, а в конструкції 3 у 18 разів більший ніж у конструкції 1. При правильній конструкції шва додаткові кріплення (на різьбі – 4, посадках з натягом – 5 та інші) зайві.

Доцільно розвантажувати зварний шов, переносячи сприймання навантажень на ділянки суцільного матеріалу і залишаючи за зварним швом тільки функцію з'єднання деталей. Приклади розвантаження зварних швів показані на видах 6, 7 (стержень навантажений осьовою силою) та на видах 8, 9 (упорний фланець). Розвантаження зварних швів у вузлі кріплення кришки до обичайки наведені на видах 10, 11.

Силові шви слід навантажувати, переважно, на зсув та розтягування, усуваючи вигин. Конструкція 12 недоцільна (частина шва з боку дії сили P працює на розрив та зсув). У 13 шов розвантажений від зсуву, але поперечний переріз ослаблений зварним швом. У конструкції 14 шов, практично, розвантажений від дії сили P та служить тільки для фіксації стержня в деталі. Шов стінки 15 розвантажений приварним ребром 16.

Вигин стикового шва 17 усувають введенням накладки 18, шви якої працюють переважно на розтягування, а стиковий шов – на стискання. Поліпшення стикового зварювання кутика показано на 19, 20, 21. Косинці доцільно приварювати не у стик, а з напуском – 23. Приварні ребра (24, 25) повинні працювати на стискання, а не на розтягування, що розвантажує зварний шов.

На видах 26–29 показано послідовне зміцнення листового з'єднання, навантаженого розтяжною силою P та згинальним $M_{зг}$ моментом. Міцність конструкції 28 вища від міцності конструкції 26 на розрив у 3 рази, а на вигин – у 5 разів.

Приварні листи, накладки, косинці і т.п. великої протяжності і малої товщини доцільно, крім обварювання по контуру, з'єднувати з основною деталлю точковим зварюванням (30), щоб не було відставання при деформації системи.

Косі шви з'єднання з напуском (31) заміняють двостороннім скосом (32), у якого шви розвантажені від зсуву. На видах 33–36 показане послідовне поліпшення приварки швелера.

Слід уникати позацентрового прикладання сил, що викликає вигин шва (37, 39), і застосовувати міцні стикові шви (38–40), коли шов працює на розтягування.

Слід також уникати розміщення зварних швів у зоні великих напруг. Наприклад, у сталевих балках шви розміщують по нейтральній лінії (41, 42) з мінімальними напруженнями. У з'єднаннях, котрі піддаються циклічним та динамічним навантаженням, слід уникати розміщення зварного шва в зоні концентрації напруг (43, 44). Якщо вивести шов за межі ділянки концентрації напруг неможливо (45), то рекомендують угнуті шви з глибоким проплавленням, що досягається зварюванням короткою дугою.

Профіль шва повинен бути, по можливості, симетричним відносно дії навантаження (46, 47), з'єднання з напуском доцільно замінити з'єднанням в стик (48–51) з симетричним розчищенням кромek (не буде викривлення силового потоку та згинальних навантажень).

З технологічних методів зміцнення зварних швів відмітимо наступні.

Опір втомленості зварного шва можна значно підвищити механічною обробкою з наданням швові раціональної форми, що зменшує концентрацію напруг (52, 53) за рахунок створення плавних переходів без виступів.

Зміцнення швів пластичним деформуванням у холодному стані (обкатування, дробоструминний наклеп, карбування) дозволяє довести опір втомленості шва до міцності основного металу.

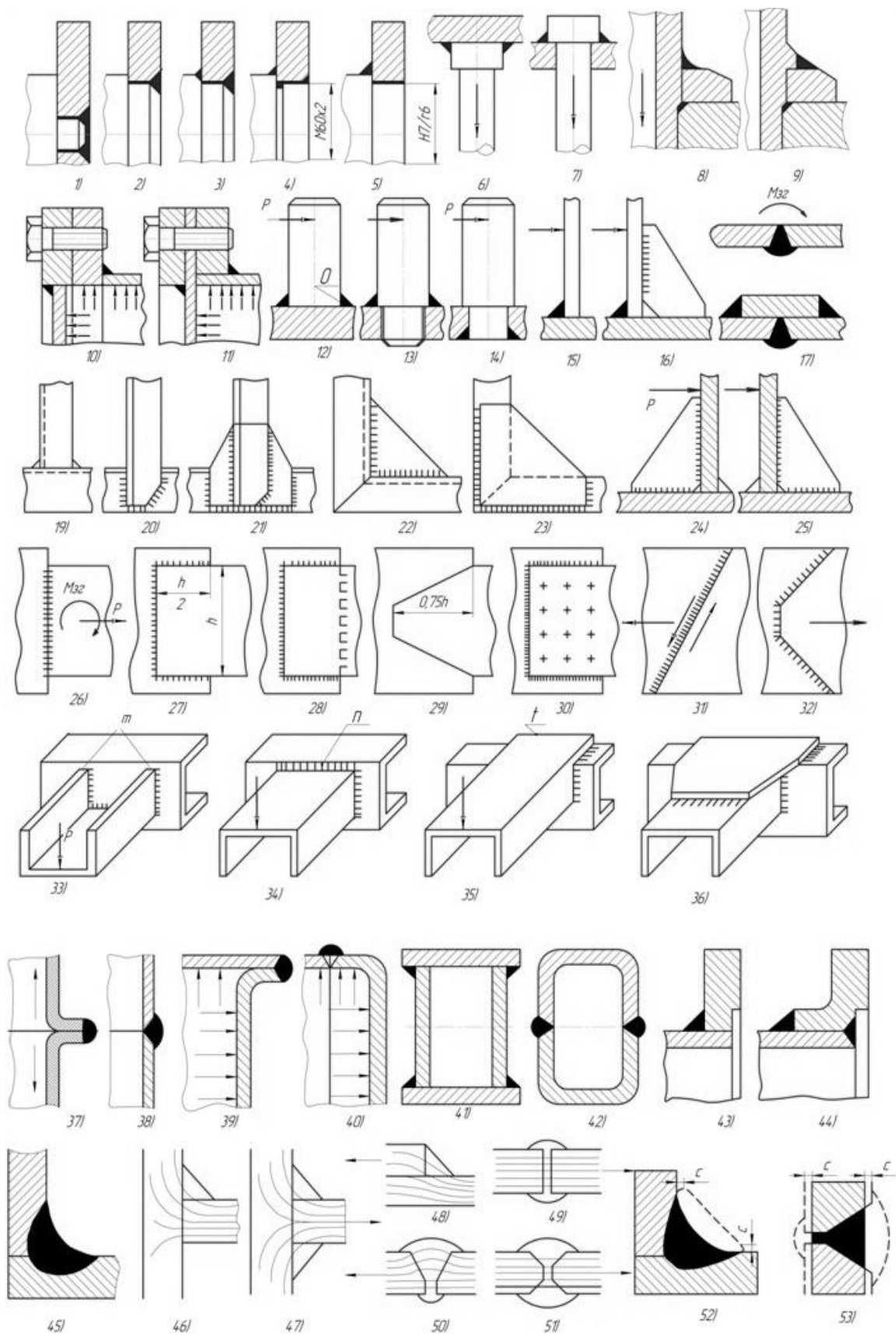


Рис. 7.23. Зміцнення зварних конструкцій

7.2.5. Правила конструювання технологічних зварних з'єднань

1. Необхідно забезпечити зручний підвід електрода до зварного шва (ЗШ), рис. 7.24.

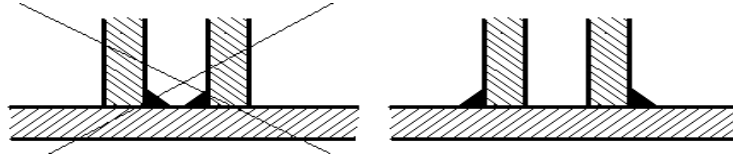


Рис. 7.24. Незручний та зручний підвід електрода до ЗШ

2. Застосовувати найбільш прості та продуктивні способи (рис. 7.25) зварювання (дугове зварювання кільцевим швом замінено контактним).

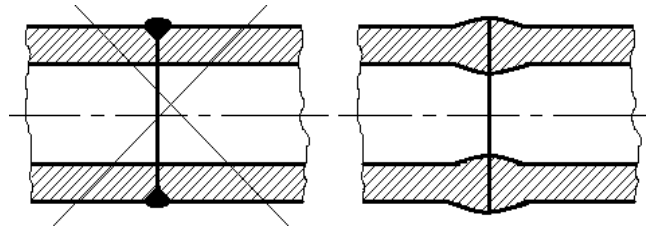


Рис. 7.25. Застосування простих та продуктивних способів зварювання

3. Уникати суміщення швів (рис. 7.26). Зводити до мінімуму кількість наплавленого металу (рис. 7.27).

4. Уникати зварювання масивних деталей з тонкими. Надавати зварюваним кромкам приблизно однакового перерізу (рис. 7.28).

5. Передбачати взаємну фіксацію з'єднуваних деталей з метою усунення зварних пристроїв (рис. 7.29).

6. Уникати трудомісткого розчищення кромки. Зварні шви утворювати шляхом зміщення зварюваних деталей (рис. 7.30).

7. Піддавати розчищенню кромки деталі, які найлегше механічно оброблюються (рис. 7.31).

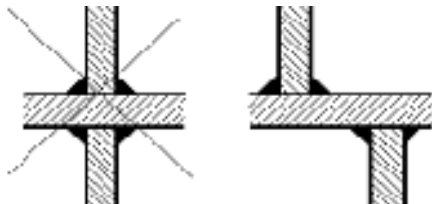


Рис. 7.26. Приварка ребер. Ребра розміщені в шаховому порядку

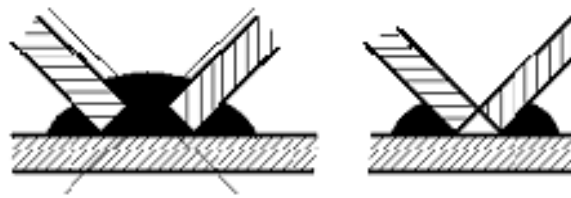


Рис. 7.27. Приварка похилих перегородок (зі зменшенням наплавленого металу)

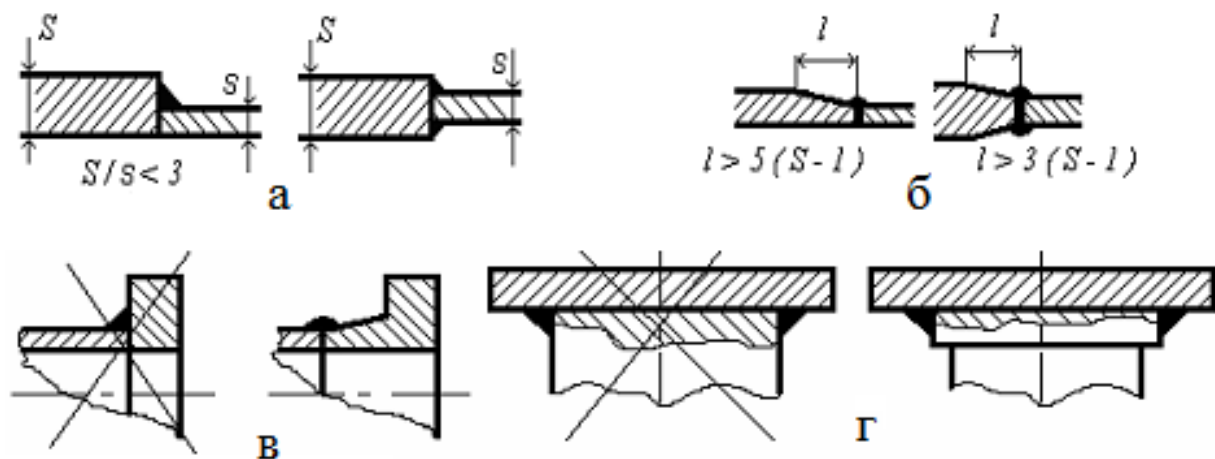


Рис. 7.28. Зварювання деталей різної товщини:
а) при $S/s < 3$; б) при $S/s > 3$ вводять клинову ділянку довжиною l ; в) фланець виконаний з тонкостінним кільцевим переходом; г) пальцеві наданий тонкостінний фланець

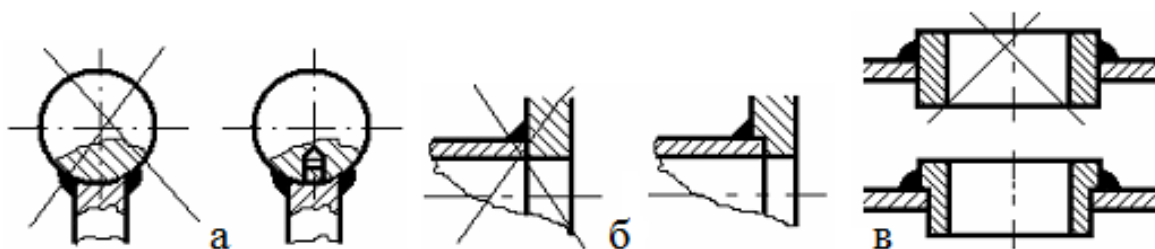


Рис. 7.29. Приклади взаємної фіксації зварюваних деталей:
а) приварка заготовки до стержня; б) приварка фланця до труби;
в) приварка бобишки до листа

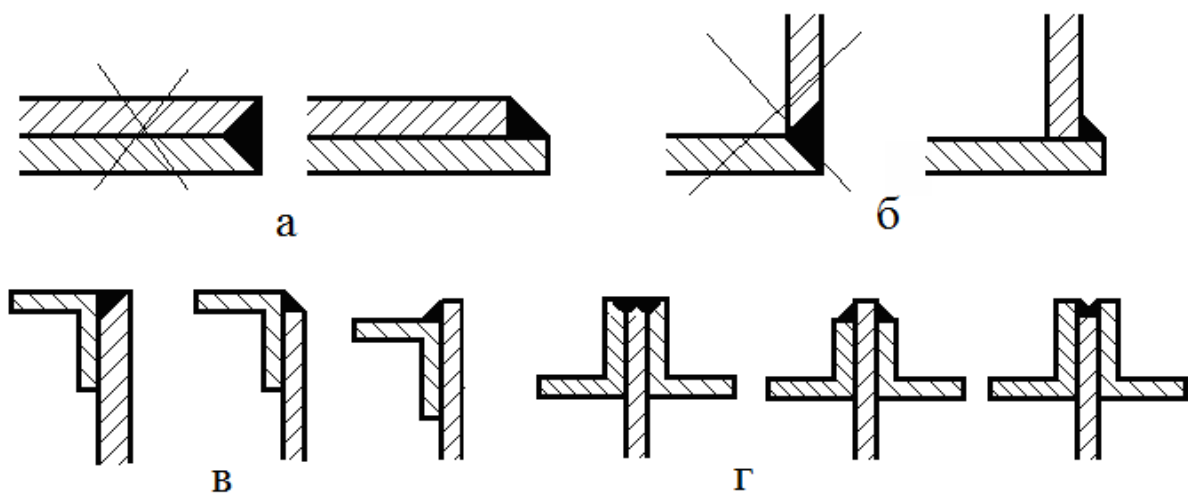


Рис. 7.30. Усунення розчищення кромки:
а) зварювання кромки; б) кутове зварювання; в) зварювання кутика з листом; г) зварювання двох кутиків з листом

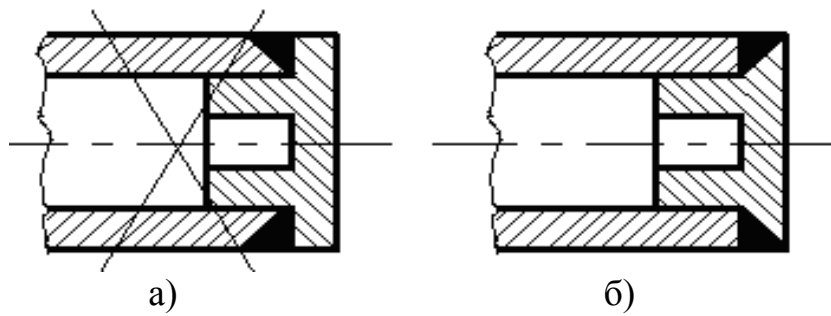


Рис. 7.31. Спрощення розчищення кромки:
а) розчищена труба; б) розчищена заглушка

8. Не застосовувати підгонку заготовок по контуру з'єднання. Спрощувати форму заготовок (рис. 7.32).

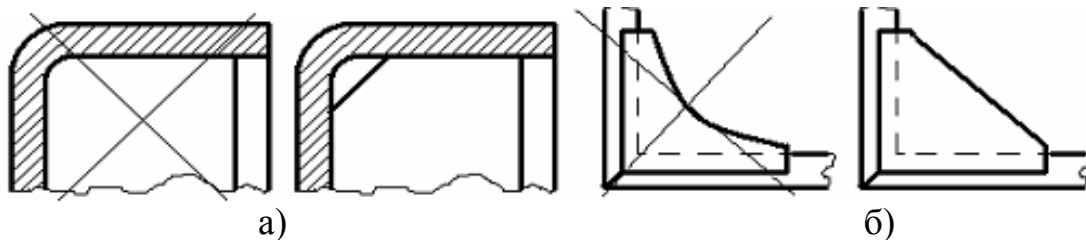


Рис. 7.32. Спрощення форми зварюваних деталей: а) приварка ребра до коритного профілю; б) фасонний косинець замінений простішим

9. Уніфікувати конструкцію зварюваних заготовок (рис. 7.33).

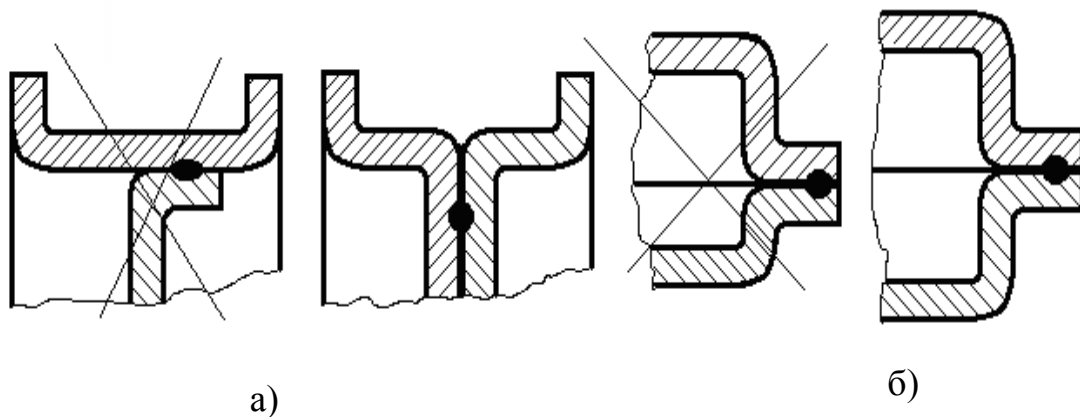


Рис. 7.33. Уніфікація зварюваних деталей: а) зварний шків з двох різних деталей замінений на шків з двох однакових деталей; б) зварний бак з двох різних деталей замінений на бак з двох однакових деталей

10. При зварюванні тонкостінних конструкцій ширше застосовувати гнуті та штамповані елементи (рис. 7.34), котрі підвищують жорсткість конструкції. При приварці полички збірна поличка (а) замінена гнутою (б).

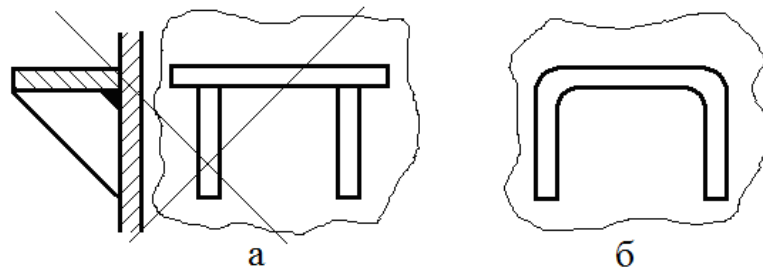


Рис. 7.34. Заміна окремих деталей суцільними гнутими

11. Попереджувати перепал та оплавлення тонких кромок у зоні зварного шва (рис. 7.35). При приварці ребра гострі кромки f та g зняті.

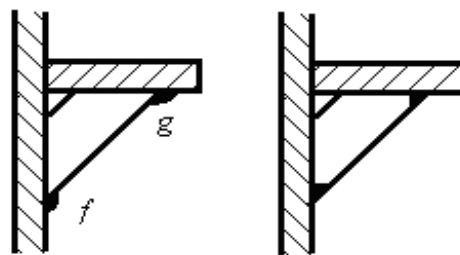


Рис. 7.35. Попередження оплавлення кромок

12. Віддаляти оброблені поверхні від зварної зони. Точні поверхні оброблювати після зварювання. На рис. 7.36, б різьба віддалена від зварного шва на відстань l , достатню для запобігання оплавленню різьби. На рис. 7.36, г зварний шов віддалений від точно обробленої поверхні, а на рис. 7.36, д передбачений припуск на обробку після зварювання.

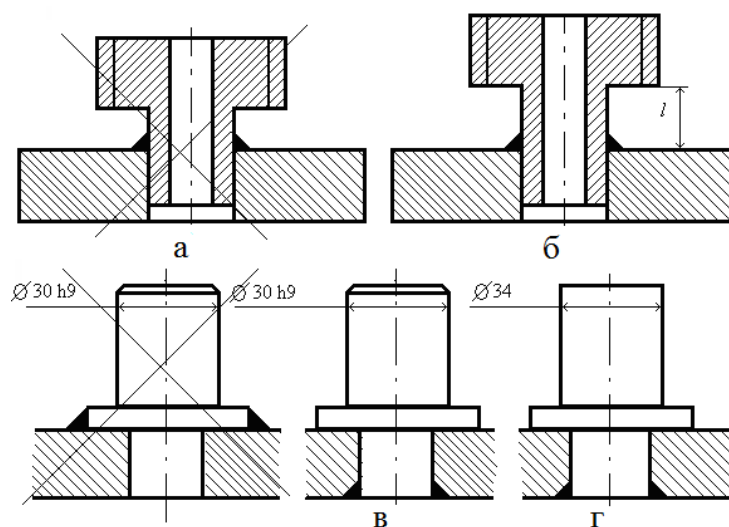


Рис. 7.36. Віддалення зварних швів від обробленої поверхні

13. При зварюванні замкнутих порожнин запобігати жолобленню тонких стінок у результаті утворення вакууму при остиганні.

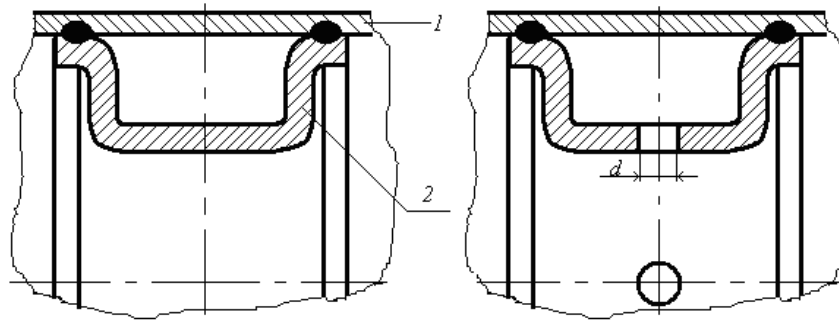


Рис. 7.37. Приварка кільцевого профілю

На рис. 7.37 показана приварка кільцевого профілю жорсткості 2 до обичайки 1. У профілі передбачений вентиляційний отвір d , що зменшує жолоблення деталі після охолодження.

14. Не з'єднувати зварюванням деталі загартовані та піддані хіміко-термічній обробці (рис. 7.38).

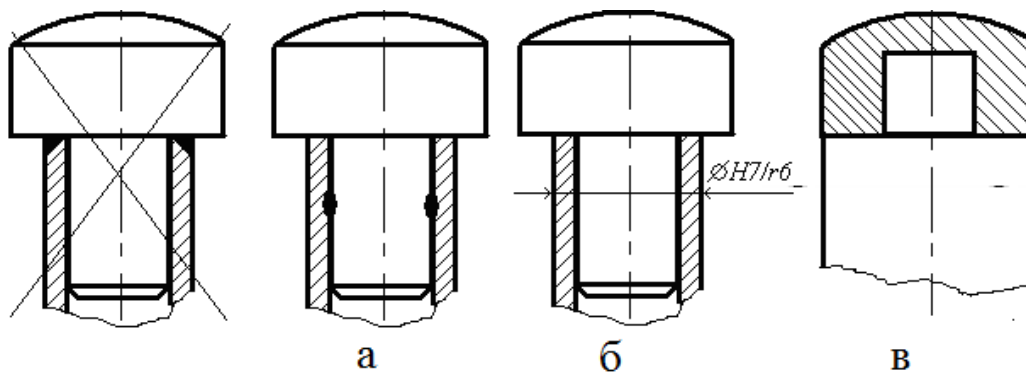


Рис. 7.38. Приєднання електрозаклепками (а), зварювання замінено запресуванням (б), головка наплавлена стелітом (в)

7.2.6. Вибір баз зварювання та проставлення розмірів на кресленнях зварних заготовок та конструкцій

У більшості випадків базою для складання та зварювання деталей в зварних конструкціях служать поверхні зварюваних деталей, тому розміри, котрі визначають положення таких деталей в складальній одиниці, слід проставляти від площини або кромки, за виключенням деталей, що мають форму тіл обертання, в котрих за одну з баз доцільно приймати вісь симетрії. За базову приймають деталь, котра має найбільшу поверхню або протяжність кромки та просту форму.

Усі установочні розміри повинні легко контролюватися простим мір'яльним інструментом (лінійкою, штангенциркулем, шаблонами), тому не раціонально проставляти розміри, які координують положення ребер, діафрагм і т.п. (а) від їх осей (неможливо буде проконтролювати).

Розміри слід проставляти від однієї деталі до другої розімкнутим ланцюгом (рис. 7.39, б).

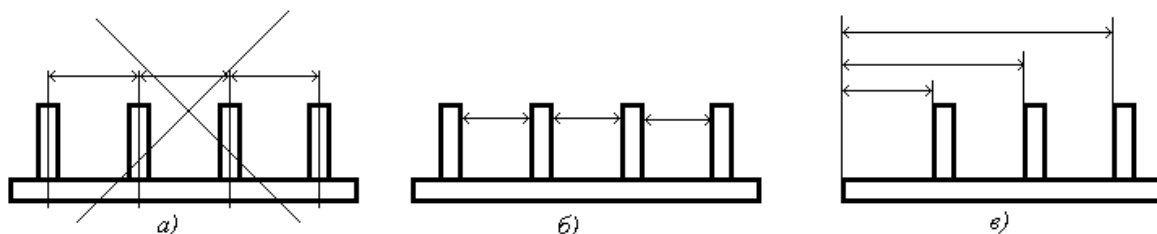


Рис. 7.39. Проставлення розмірів у зварних конструкціях

Коли ставлять розмір у конструкціях, які після зварювання піддаються механічній обробці, за вихідну базу доцільно приймати необроблювані поверхні, тому що взаємне положення елементів буде легко проконтролювати (в).

Необґрунтоване зменшення допусків знижує технологічність, тому що потребує виконання в елементах зварюваної заготовки точних установочних баз і застосування спеціальних пристроїв для установки та кріплення зварюваних деталей.

Для деталей з механічно необробленими кромками (поверхнями), допуск на розміри доцільно установити не меншим, ніж за 16 квалітетом з симетричним розміщенням поля допуску. При зварюванні деталей з механічно обробленими кромками, допуски на розміри можна призначувати в межах 15–14 квалітетів.

7.2.7. Вибір термічної обробки після зварювання

Метою термічної обробки зварних швів та конструкцій є найбільш повне відновлення початкових властивостей металу навколошовних зон, надання металу та шву заданих властивостей, зменшення небезпеки утворення тріщин у навколошовній зоні, зменшення залишкових напруг та стабілізація форми.

Відновлення початкових властивостей металу в навколошовній зоні досягається відпалом, нормалізацією та гартуванням з відпуском. Це, особливо, необхідно для зварних заготовок з легованих сталей типу 40Х, 40ХН та сталей 40, 45.

Для поліпшення пластичних властивостей зварного шва і зменшення твердості металу в навколошовних зонах, застосовують високий відпуск при температурі 650–700 °С. Відпуск при більш низькій температурі менше знімає залишкові напруги, але вирівнює їх. При неможливості відпускання усієї конструкції, застосовують місцевий нагрів або природне старіння на відкритій площадці до 30 діб та більше.

Просторові конструкції, що виготовляють з деталей товщина яких 15–20 мм і більшою з механічною обробкою до 11 квалітету включно, слід піддавати високому відпускові.

Якщо зварні конструкції виготовлені зі сталі з вмістом вуглецю до 0,22 % і далі не піддаються точній механічній обробці, або остання відноситься тільки до спряжуваних поверхонь (кронштейни, стояки та інші), відпуск для знімання напруг можна не виконувати.

При статичних навантаженнях і роботі на розтягування твердість металу в навколошовній зоні може бути в межах 36–39 HRC, при роботі на вигин – до 24–31 HRC.

Зварні шви для сталей типу Ст3, 08, 10, 20 при товщині елементів до 8 мм, котрі працюють при динамічних навантаженнях короткий час, можна не піддавати відпуску, якщо твердість у навколошовній зоні не перевищує 27 HRC.

Необґрунтований вибір термічної обробки знижує економічні показники. Крім термічної обробки, що виконується після зварювання і передбачається при конструюванні, застосовують інші способи зменшення зварних деформацій:

- вибір послідовності зварювання при виконанні кожного шва окремо і усіх швів у конструкції;
- закріплення і зворотній вигин деталей перед зварюванням;
- створення напруг у деталях перед зварюванням;
- нагрівання зварюваних деталей;
- охолодження зварюваних деталей (допускається тільки для деталей з маловуглецевих сталей);
- випрямлення звареної складальної одиниці перед механічною обробкою;
- застосування зварних пристроїв.

7.2.8. Умовне зображення та позначення швів зварних з'єднань

Позначення швів зварних з'єднань виконують за ГОСТ 2.312 – 72.

Незалежно від способу зварювання, зварні шви умовно показують на кресленні: видимий – суцільною основною лінією; невидимий – штриховою лінією. Від показаного шва проводять лінію-виноску, що

закінчується односторонньою стрілкою. При точковому зварюванні, видиму одиничну точку показують знаком +, невидимі точки - не показують. Для нестандартних швів показують розміри конструктивних елементів, необхідні для виконання шва за даним кресленням. Границі шва відмічають суцільними основними лініями, а конструктивні елементи кромek у границях шва – суцільними тонкими лініями. Креслення зварних деталей оформляють як креслення основних складальних одиниць.

На поличці-виносці  проставляють позначення зварного шва, яке включає:

1. Позначення стандарту на типи та конструктивні елементи швів зварних з'єднань;
2. Буквено-цифрове позначення шва за стандартом;
3. Умове позначення способу зварювання за стандартом (допускається не указувати);
4. Знак \triangle та розмір катета за стандартом;
5. Для переривчастого шва – довжину проварюваної ділянки та крок (діаметр зварної точки) та інше.

Приклад: ГОСТ 14806 – 80 T5 – Pn3 - \triangle 6 – 50 Z 100.

Після допоміжних знаків, якщо указана наступна механічна обробка шва, проставляють позначення параметра шорсткості оброблюваного шва тощо.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. У чому суть процесу зварювання?
2. Які застосовують способи зварювання?
3. Чим обмежується зварюваність сталей різних марок?
4. Які види зварних з'єднань (швів) найбільш часто застосовують.
4. Які причини зниження міцності зварних швів?
5. Які шляхи підвищення міцності зварних швів?
6. Як конструктивними та технологічними прийоми підвищують міцність зварних швів?
7. Основні правила конструювання технологічних зварних з'єднань.
8. Які поверхні деталей можуть служити в якості баз під зварювання і проставляння розмірів на зварних конструкціях?
9. З якою метою проводять термічну обробку деталей після зварювання?
10. Умове зображення та позначення швів зварних з'єднань.

7.3. Виготовлення складальних одиниць апаратів

7.3.1. Виготовлення обичайок

Обичайки є найважливішими елементами при виготовленні корпусів апаратів і реакторів. Їх виготовляють, в основному, двома способами: згинанням листа на валковій листозгинальній машині, або з двох полуобичайок, виготовлених штампуванням. Як правило, обичайки діаметром до 600 мм виготовляють з одним поздовжнім швом, а з більшим – з декількох листів.

Технологічна послідовність операцій при виготовленні різних обичайок, в основному, однакова. Для виготовлення обичайок застосовують спеціалізовані потокові лінії.

Потокова лінія, яка показана на рис. 7.40 [12], призначена для виготовлення обичайок діаметрами 400–2000 мм з листів, товщина яких досягає 25 мм. Очищені і виправлені в заготовчому відділенні листи укладають пакетом на початку потокової лінії. За допомогою крану з магнітною шайбою оператор укладає один лист на рольганг 1, звідки за допомогою штовхачів лист подається у поверховий нагромаджувач 2. Місткість нагромаджувача 10–15 листів і він може видавати на лінію будь-який лист. Далше штовхачем 3 лист подається до упору на стенд газового різання поздовжніх кромок 4, а після лебідкою 5 – на стенд газового різання поперечних кромок. При наявності гільйотинних ножиць, їх можна застосувати замість газового різання для різання поздовжніх і поперечних кромок.

Після підготовки кромок різанням, на пресі 7 підгинають кромки з двох сторін і далше за допомогою механізованого рольганга 8 лист подається до листозгинальної машини 9. Лист точно виставляється передньою кромкою до упору 10 і згинається. Після цього обичайка знімається тельфером 11 з машини і потім установлюється на нахилений стелаж 12. Далше обичайка з однієї позиції на іншу перекочується самокатом по сковзалу з кутом нахилу 1–2° і установлюється на роликах зварювальної машини 14.

З'єднання поздовжнього стику виконується за допомогою гідравлічних струбцин 13. Після приварювання на роликових опорах західної і вихідної планок 14, виконується зварювання внутрішнього шва на флюсовій подушці 16. При зварюванні обичайок малих діаметрів застосовується консольна установка 15. Після зачищення на позиції 17 кореня шва, на стенді 18 зварюється зовнішній поздовжній шов. Далі на стенді 20 шов зачищають, знімають підсилення і видаляють вхідну та вихідну планки.

Електротельфером 21 обичайка подається на листозгинальну машину 23 для виправлення. Якість зварних швів контролюється на стенді 22 і дефекти усуваються на стенді 24. Якщо обичайка виготовляється з біметалу, то в кінці лінії може бути установлений стенд 25 для зварювання внутрішнього плакуючого шва.

При виготовленні одношовних обичайок діаметром 1000–2400 мм у *нагрітому стані* (з вуглецевих і легованих сталей), заготовку обичайки з двох сторін обмазують крейдовим розчином, для попередження утворення окалини, і завантажують у піч. Деформацію листа вальцюванням виконують при температурі не меншій 1050 °С і очищають лист при температурі не нижчій 1000 °С.

Аналогічно виготовляють багатошовні обичайки з величиною діаметра до 3600 мм.

При *газокисневому різанні листів з сталі 12ХМ* необхідно попередньо підігріти метал до температури 250–300 °С, щоб при охолодженні в кромках різку не утворились тріщини глибиною 1,5–2 мм. Крім того, необхідно максимально скоротити час між зварюванням і термообробкою швів, тому що якщо цей час більший 24–36 годин, то в зоні термічного впливу з'являються тріщини.

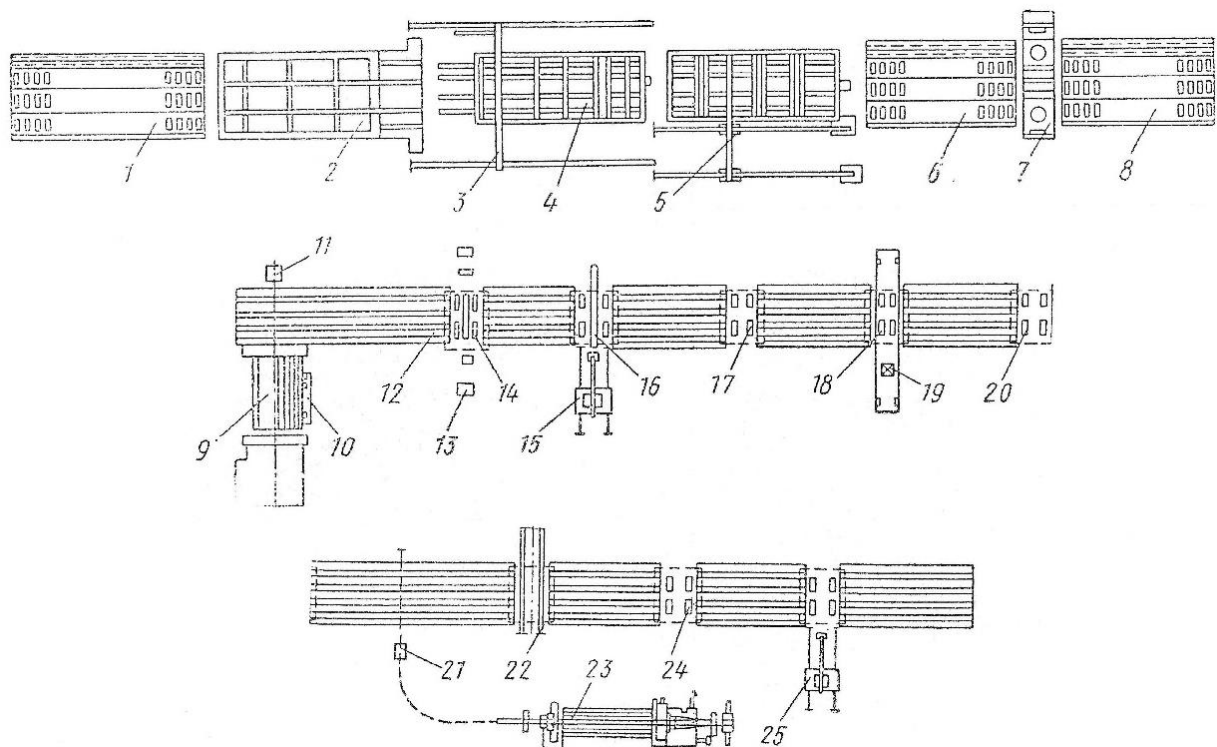


Рис. 7.40. Схема потокової лінії для виготовлення обичайок

Відбортровка кромek обичайок діаметром 700–2000 мм і товщиною до 12 мм (висота борта до 30–60 мм) виконується на спеціальних верстатах за допомогою деформуючих роликів у холодному або нагрітому стані.

Виправлення обичайок товщиною 6 мм і більшою виконують на валкових листоправильних машинах. Крім того, застосовують також виправлення обичайок при радіальному розтягуванні на механічних пресах за допомогою розсувних оправок. Для обробки деталей Ø 250–1270 мм, довжиною 600–1525 мм і товщиною 0,5–30 мм застосовують гідравлічні преси зусиллям 135–425 тс. Після такого виправлення відхилення діаметра знаходиться в межах 0,3–0,5 мм.

Виправлення гідророзширенням на пресах-розширювачах застосовується, в основному, для труб довжиною до 6 м. При цьому трубу вставляють у матрицю, яка складається з декількох секторів, за допомогою спеціальних головок ущільнюють торці і подають воду під тиском до 13 МПа протягом 30 с. Так виправляють обичайки діаметром 530–1020 мм з товщиною стінок 8–12 мм.

Застосовують також виправлення обичайок та труб за допомогою вибухових речовин та застосуванням температурних методів виправлення.

7.3.2. Виготовлення днищ

Днища корпусів апаратів виготовляють з таких же матеріалів, що і обичайки. Найчастіше застосовують опуклі днища, які після приварюють, а іноді механічно кріплять, до обичайки.

Заготовка для днища представляє собою круглий диск, який вирізають газовим різанням за допомогою напівавтоматичних установок, або вручну. Днища виготовляють штампуванням на пресах, обкатуванням роликами, штампуванням вибухом.

Штампуванням виготовляють днища відносно невеликих діаметрів. Штампування виконують на гідравлічних пресах при температурі заготовки ~ 1000 °С.

Температура нагрівання заготовок днищ вибрана з умов суміщення нагрівання під штампування з нормалізацією деталі.

У процесі штампування днищ спочатку оформлюють сферичну частину (рис. 7.41) [14]. Для забезпечення невеликих сил деформації і мінімального потоншення стінок днища на

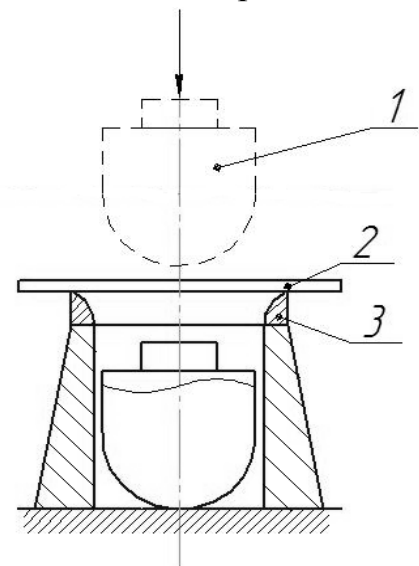


Рис. 7.41. Схема штампування днищ

дільниці переходу його сферичної частини в циліндричну, необхідно правильно підібрати радіуси закруглення матричного кільця 3 та зазор між пуансоном 1 і матрицею 3. Допустиме потоншення не повинно перевищувати 8 %. Відштамповане днище очищують від окалини за допомогою газової горілки, пневмозубилами та шліфувальними машинами.

Виготовлення днищ обкатуванням дозволяє зменшити вартість оснастки у порівнянні з штампуванням. Обкатуванням виготовляють днища на спеціальних установках у нагрітому стані. Температура кінця обкатування не повинна бути нижчою 700 °С. Застосовують днища одного та багат шарів.

На рис. 7.42 показана схема обкатування другого шару днища, при цьому: 1 – заготовка другого шару; 2 – бортувальний ролик; 3 – матриця-плунжер; 4 – пуансон; 5 – перший (внутрішній) шар; 6 – центруючі ролики; 7 – давальний ролик.

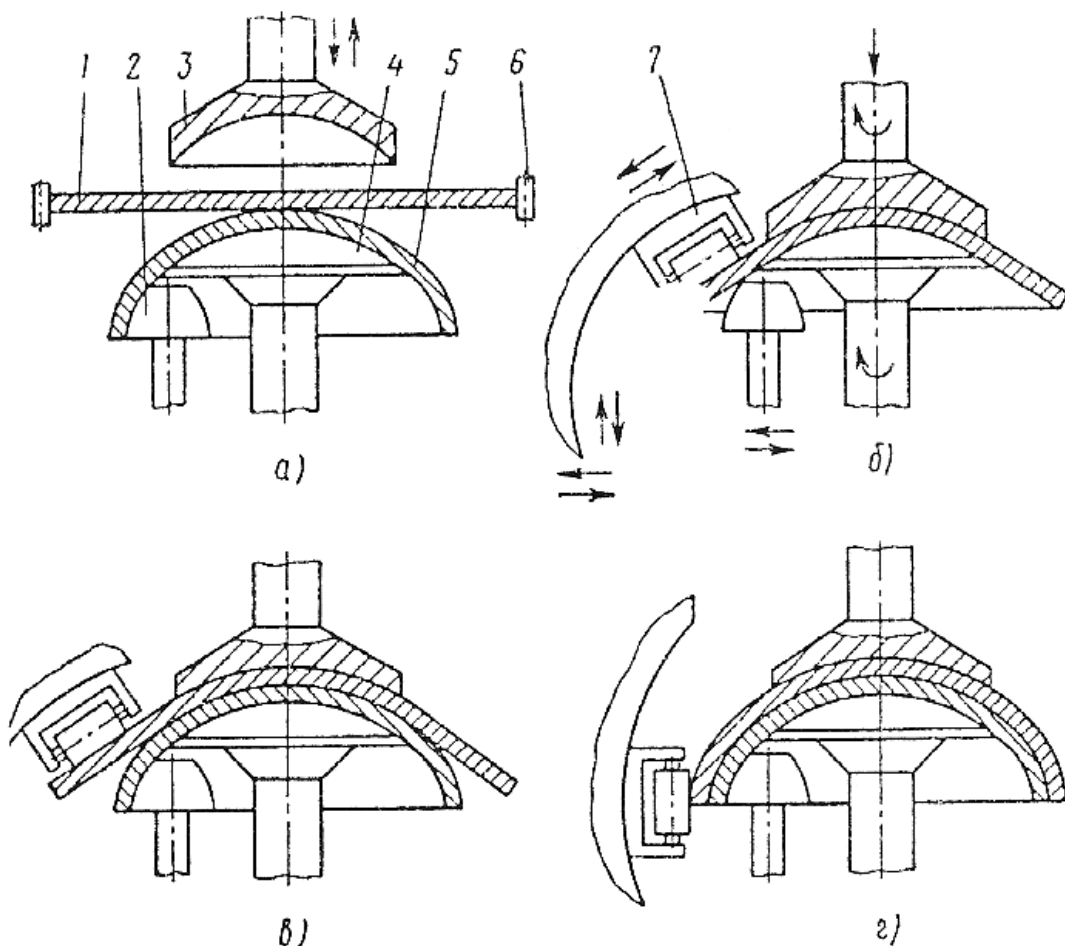


Рис. 7.42. Процес формоутворення багат шарового днища

Перший (внутрішній) шар днища формується за три стадії, як і при формуванні одношарового днища: а – часткове штампування центральної частини; б – обкатування борта шару за допомогою давильного ролика 7 одночасно з закінченням штампування центральної частини; в, г – остаточне обкатування першого шару днища давильним 7 і бортувальним 2 роликami. Після цього перший шар днища знімають з грибка, очищують і після охолодження підрізають торець першого шару.

Виготовлення другого шару днища, показане на рис. 7.42, виконується в такій же послідовності, але вихідну заготовку 1 установлюють не безпосередньо на пуансон 4, а на оброблений перший шар 5.

Обкатуванням нагрітих заготовок товщиною 26–40 мм, при цьому отримують 2–3 шарів днища загальною товщиною до 96 мм і діаметром до 2000 мм.

Чистову обробку та розчищення кромek днища під зварювання виконують на токарно-карусельних верстатах. Перед зварюванням днище з обичайкою складають за допомогою пристрою у вигляді кільця з установочними гвинтами. Обичайки з днищами з'єднуються багатошаровим автоматичним зварюванням на спеціальних установках. Кільцеві шви при товщині стінок понад 90 мм виконуються електрошлаковим зварюванням.

7.3.3. Виготовлення деталей теплообмінних апаратів

До теплообмінних апаратів, у залежності від їх призначення, відносяться теплообмінники, холодильники, конденсатори і випарники. Труби діаметром 20, 25, 38 і 57 мм застосовують у апаратах з жорстким кожухом і нерухомими трубними ґратками.

Матеріалом для трубних ґраток служить листова сталь різних марок. Найчастіше трубні ґратки виготовляють з суцільних заготовок з вуглецевих і низьколегованих сталей з вмістом вуглецю 0,25 %, а також з нержавіючих сталей 08X18H10T, 12X18H10T, 10X17H13M2T і 10X17H13M3T. Трубні ґратки теплообмінників і випарників великих діаметрів виготовляють з декількох частин.

Технологічний процес виготовлення ґраток виконується в наступній послідовності.

Заготовки ґраток вирізають на автоматизованих газорізальних установках з ЧПК. Після вирізання напливи і задирки зачищують шліфувальними пристроями і дисковими металевими щітками та виправляють.

Для обробки отворів у трубних ґратках та перегородках діаметром 1200 та 1400 мм застосовують спеціальні 15-шпиндельні верстати з ЧПК, а в ОВ та МСВ – звичайні свердлильні верстати з ЧПК. При цьому для обробки отворів Ø 25 мм послідовно виконуються операції свердління, зенкерування і розточування канавок. При обробці отворів Ø 38 мм після свердління додається операція розсвердлювання.

Перегородки теплових апаратів виготовляють з листового прокату товщиною від 3 до 12 мм у залежності від діаметра апарата. Свердління отворів у перегородках виконується зразу в пакеті заготовок на радіально-свердлильних верстатах за допомогою накладних кондукторів, а також на свердлильних верстатах з ЧПК. При великій програмі випуску, найбільш прогресивний процес – виготовлення отворів у перегородках товщиною до 6 мм і діаметром до 600 мм штампуванням.

Найвідповідальніші і найскладніші операції при виготовленні теплообмінних апаратів – кріплення труб у трубних ґратках. Застосовують декілька методів кріплення труб у трубних ґратках: кріплення труб за допомогою роликів вальцівки; обварювання труб; кріплення труб за допомогою високовольтних електричних розрядів; розвальцювання труб за допомогою вибуху; імпульсний метод розвальцювання ударом жорсткого інструмента; гідропротягуванням; кріплення труб високим гідравлічним тиском.

При кріпленні труб розвальцюванням інструмент, який обертається, вводиться в отвір труби, вставленої в отвір ґратки, і ролики розходяться, роздаючи трубу до щільного контакту з отвором у ґратці. Для забезпечення стабільного і надійного з'єднання труб з ґратками застосовують розвальцювання труб з контролем зусилля розвальцювання.

При розвальцюванні тонкостінних труб Ø 28x4 і Ø 57x3,5 мм перед розвальцюванням кінці труб і отвори в ґратках змащують епоксидним клеєм, що забезпечує високу щільність з'єднань. Розвальцювання труб необхідно виконувати в певній послідовності, що виключає викривлення ґраток.

Обварювання труб у трубних ґратках виконується в таких випадках: коли рідини і гази, які циркулюють у теплообмінниках, ядовиті або радіоактивні, при з'єднанні з повітрям можуть утворити вибухову суміш; якщо трубна ґратка має малу товщину і необхідно підвищити механічну міцність з'єднання; коли є небезпека корозії труб у місці їх з'єднання з отворами в ґратці; при високих тисках і температурах в процесі експлуатації.

В ОВ та МСВ часто застосовують ручне обварювання обмазаними електродами. Для тонкостінних труб, при відстані між ними меншій 5 мм, застосовують автоматичне зварювання вольфрамовим електродом в

атмосфері захисного газу. У деяких випадках економічно вигідно застосовувати автоматичне обварювання електродом, який плавиться в атмосфері захисного газу. Прогресивним є обварювання труб короткою дугою в атмосфері захисного газу з суміші аргону та вуглекислоти, що виключає утворення пористості в швах.

З'єднання труб з ґратками піддають контролю за допомогою пневматичної гідросистем.

7.3.4. Футерування апаратів листовим титаном

Титан – єдиний матеріал, який корозійностійкий в середовищах, які містять двоокис хлору, хлорати, гіпохлорити і вологий хлор. Через високу вартість титану його застосовують, переважно, як облицювальний матеріал. Для футерування застосовують титанові листи товщиною 1-5 мм марки ВТ1-0 та ВТ1-00.

При футеруванні корпусів апаратів, футеровку корпусу, днищ і кришок виконують окремо. При футеруванні апаратів вставним вкладишем спочатку штамнують днища з титану і одночасно отримують днища з вуглецевої сталі. Після, за фактичними розмірами зовнішнього діаметра титанового днища і внутрішнього діаметра корпусу апарата, виготовляють титанову обичайку. При цьому шви обичайки і приварювання титанового днища до обичайки виконують автоматичним аргонно-дуговим зварюванням. Після титанову обичайку з привареним днищем вставляють у корпус апарата до щільного прилягання до поверхні днища з вуглецевої сталі і зварюють. Після приварювання титанової обичайки оброблюють привалкові поверхні титанових фланців. У апараті, підготовленому до футерування, на привалкові площини сталевих фланців установлюють титанові фланці і закріплюють їх титановими гвинтами.

Основними деталями і складальними одиницями при виготовленні футерованої апаратури є обичайки, днища, фланці, люки та штуцери.

Тонкостінні днища з титану, у залежності від їх розмірів і наявного обладнання, виготовляють такими способами: штампуванням зі зварених пакетних заготовок; штампуванням у комбінованому штампі сумісної дії; штампуванням і складанням окремих елементів днища (пелюсток, диска).

При виготовленні днищ за першим способом беруть дві заготовки з вуглецевої сталі і між ними розміщують одну заготовку з титану. Заготовка з титану повинна бути меншою від діаметра заготовки з вуглецевої сталі на 8–16 мм, щоб торець титанової заготовки не заважав зварювати заготовки з вуглецевої сталі між собою. З'єднувані заготовки старанно очищують і перед зварюванням стискають.

Днища з пакетних і суцільних заготовок штампують в однакових штампах, які мають притискні кільця. Температура нагрівання пакетної заготовки для штампування – не вища 750 °С. Зазор між матрицею і пуансоном – в межах 1,05–1,1 від товщини пакетної заготовки. Днище, яке відштамповане з пакетної заготовки, обрізають по висоті і виймають з відштампованого пакета тільки внутрішнє днище з вуглецевої сталі.

Після штампування титанові днища піддають травленню і промивають волосяними щітками в теплій воді при температурі 40–50 °С. Зовнішнє днище з вуглецевої сталі, яке призначене для виготовлення корпусу апарата, очищують дробоструминним або іншим методом, а внутрішнє днище з вуглецевої сталі може бути використане для виготовлення інших апаратів.

Крім розглянутих вище складальних одиниць, у хімічному машинобудуванні застосовують різні кришки, фланці, люки, штуцери, прокладки, компенсатори, тарілки, арматуру, крани, засувки, конструкції з труб та стержньового прокату тощо.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Яка технологічна послідовність операцій виготовлення обичайок?
2. Які способи застосовують у процесах виготовлення днищ?
3. Яка послідовність виготовлення ґраток теплообмінних апаратів?
4. З якою метою здійснюють футерування апаратів титаном?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залоги. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 371 с.
2. Серебrenицкий П.П., А.Г. Схиртладзе. Программирование для автоматизированного оборудования. / Под ред. Ю.М. Соломенцева – М.: Высш. шк. 2003. – 592 с., ил.
3. Базовые принципы программирования. HAASAUTOMATION, INC. 2800 SturgisRd. Oxnard, CA 93030, 2005. – 55 с.
4. Теорія різання: методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студ. на пряму підготовки бакалаврів 0505 «Інженерна механіка» / Уклад.: В.Г. Біланенко, О.О. Мельник, В.М. Кореньков. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010 – 116 с.
5. Фельдштейн Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ: учеб. пособие / 3-е изд. – Минск: Новое знание, 2008. – 299 с., ил.
6. Ковшов, А.Н., Назаров, Ю.Ф. Нетрадиционные методы обработки материалов: Учебное пособие / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. – М: МГОУ, 2003. – 357 с., ил.
7. Киселев, М.Г. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Учебное пособие / М.Г. Киселев, Ж.А. Мрочек, А.В. Дроздов – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2014. – 388 с., ил., табл., схемы.
8. Дальский А.М., и др. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве. / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Издательство МАИ, 2000. – 364 с., ил.
9. Ящерицын П.И. Основы резания материалов. Учебное пособие / П.И. Ящерицын, В.Д. Ефремов. – Минск: БГАТУ, 2008. – 644 с., ил.
10. Клепиков В.В., Бодров А.Н. Технология машиностроения. Учебник. – М.: Форум, Инфра-М, 2004. – 860 с., ил.
11. Жуков Э.Л. и др. Технология машиностроения: Учеб пособие для вузов. В 2 кн. / под ред. С.Л. Мурашкина. – М.: Высш. шк., 2003. Кн. 1. Основы технологии машиностроения. – 278 с., ил.
12. Берлинер Ю.И., Балашов Ю.А. Технология химического и нефтяного аппаратостроения. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с., ил.
13. Бурцев В.М., Васильев А.С., Дальский А.М. и др.: Технология машиностроения: В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Под ред. Дальского А.М. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с., ил.

14. Карякин С.К. Технологические процессы котлостроения: учебное пособие. Изд-е 2-е, испр. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 176 с., ил.

15. Борисов В.М. Технология компрессорного и холодильного машиностроения. PDF. Учебное пособие. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. – 140 с. ISBN 978-5-7882-1293-7.

16. Калекин В.С. Процессы и аппараты химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы. Учеб. пособие. В 2-х ч. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. Ч.1. – 212 с., ил.

17. Седель О.Я. Техническое нормирование. Минск: Новое знание, 2008. – 202 с., ил.

18. Маслов А.Р., Схиртладзе А.Г. Обработка труднообрабатываемых материалов резанием. Учебное пособие для студ. машиностр. вузов. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 208 с., ил.

19. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для студ. вузов / Базров Б.М. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с., ил.

20. Богуслаев В.А. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие для студ. вузов / Богуслаев В.А., Цыпак В.И., Яценко В.К. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. – 335 с., ил.

21. Жуков Э.Л. и др. Технология машиностроения: Учебное пособие для вузов. В 2-х кн. / под ред. С.Л. Мурашкина. – М.: Высшая школа, 2003. Кн. 2. Производство деталей машин. – 295 с., ил.

22. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для студ. машиностроит. спец. вузов / Колесов И.М. – М.: Высшая школа, 2001. – 591 с., ил.

23. Маталин А.А. Технология машиностроения. / Маталин А.А. – Л.: Машиностроение, – 2008. – 510 с., ил.

24. Методичні вказівки з дисципліни «Проектування технологічної оснастки» (до виконання розрахунково-графічної роботи). / Укл. П.А. Павліченко і ін.), – Київ: КПІ, 2006. – 76 с., ил.

25. Сысоев С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов: учеб. пособие / С.К. Сысоев, А.С. Сысоева, В.А. Левко. – СПб.: Лань. 2011. – 352 с., ил.

26. Передрей Ю.М. Технология машиностроительного производства: учебн. пособие в 2-х ч. / Передрей Ю.М. – Пенза: Изд. Пензенского гос. ун-та, 2012. – 236 с., ил.

27. Справочник технолога-машиностроителя. / Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещерякова Р.К., Суслов А.Г. и др. 5-е издание, перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 2003. Т.1 – 910 с., Т.2 – 943 с.

28. Косов Н.П. и др. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: учебное пособие / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. М: Машиностроение, 2007. – 304 с., ил.

29. Черпаков Б. И. Технологическая оснастка М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 288 с., ил.

30. Якимов А.В., Царюк В.Н., Якимов В.А. и др. Технология машиностроения: Учебник для студ. машиностр. вузов. / Под редакцией Якимова А.В. – Одесса: Астропринт, 2012. – 784с., ил.

31. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт і самостійної роботи студентів інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту / Укл. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Субін А.А., Гриценко В.М. Під редакцією Петракова Ю.В. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 112 с., іл.

32. Родін П.Р. і др. Металорізальні інструменти. В 2-х ч. / П.Р. Родін, Ю.М. Бугай, Н.С. Равська, В.І. Солодкий. – Київ, «Вища школа», 1993. – Ч.1 – 226 с., іл.

33. Ящерицын П.И. Основы резания материалов. Учебное пособие / П.И. Ящерицын, В.Д. Ефремов. – Минск, БГАТУ, 2008. – 644 с., ил.

34. Панов А.А. и др. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др. Под общей редакцией А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с., ил.

35. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Бойков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с., ил.

36. Горбачев А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Вышэйшая шк., 2007. – 256 с., ил.

37. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) і самостійної роботи з дисципліни «Технологічні основи машинобудування та технологія машинобудування» для студентів спеціальності 131. «Прикладна механіка» інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту / Уклад.: Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Фролов В.К.. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 80 с., іл. Затверджено Методичною радою ММІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua>

38. Андреев Г.Н., Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства. Учебное пособие для студентов машиностроит. вузов. – М.: Высшая школа, 1999. – 415 с., ил.

39. Долженков Ф.Е. Обработка металлов давлением. Учебное пособие. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – 76 с., ил.

40. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. Под общей редакцией Ю.Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с., ил.

41. Формообразующие движения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edulib.pgta.ru/els/2013/111_13/Lektcii_omp/lectsii.htm/lekc_4/formoobrdvig.html. Дата доступа 18.02.2018.

42. Клепка холодная, горячая и смешанная [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/18/203.htm>. Дата доступа 12.06.2018.

43. Долженков Ф.Е. Обработка металлов давлением. Учебное пособие. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – 76 с., ил.

44. Добрянський С.С., Малафеев Ю.М., Пуховський Є.С.. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під редакцією Коренькова В.М. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014 – 353 с., іл.

45. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Проектування та виробництво литих заготовок. (Частина І). Укладачі: Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафеев Ю.М., к.т.н., доц. / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 42ст. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua>

46. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Проектування та виробництво штампованих заготовок. (Частина ІІ). Укладачі: Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафеев Ю.М. к.т.н., доц. / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 73 ст. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.u>

47. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) і самостійної роботи для студентів інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту з дисципліни «Технологічні основи машинобудування та технологія машинобудування» / Укладачі: Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафеев Ю.М., к.т.н., доц., Фролов В.К. к.т.н., доц. – / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 79 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua>

48. Технологія машинобудування: методичні рекомендації до вивчення дисципліни для студентів інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту. Ілюстративний матеріал. / Уклад. Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафеев Ю.М., к.т.н., доц., Фролов В.К. к.т.н., доц. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017 – 92 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua>

49. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей / Частина I / Під ред. Коренькова В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 286 с., іл.

50. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М., С.С. Добрянський. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей. / Частина II. / Під редакцією Коренькова В.М. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 204 с., іл.

51. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131. «Прикладна механіка» інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту. / Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафєєв Ю.М., к.т.н., доц., Фролов В.К. к.т.н., доц., Гриценко В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 112 с.

52. Лебедев Л.В. Технология машиностроения. Учебник для студентов машиностр. вузов. – М.: Академия, 2006. – 528с., ил.

53. Суслов А.Г. Технология машиностроения. Учебник для студентов машиностр. вузов. – М.: Машиностроение, 2007. – 430с., ил.

54. Технология машиностроения. В 2-х томах. Том 1. Основы технологии машиностроения. Под ред. Дальского А.М., Кондакова А.И. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 478с., ил.

СКОРОЧЕННЯ

АЛ – автоматична лінія
БВП – блок вводу програми
БК – блок керування
ВО – виконуючий орган
ВП – ввід програми
ВПД – верстат-пристрій-інструмент-деталь
ВСВ – великосерійне виробництво
ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво
ГВМ – гнучкий виробничий модуль
ГРР – головний рух різання
ДП – датчик переміщення
ЕВО – електровибухова обробка
ЕЕО – електроерозійна обробка
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
ЕХО – електрохімічна обробка
ЄСТД – єдина система технологічної документації
ЄСТПВ – єдина система технологічної підготовки виробництва
ІМ – інструментальний матеріал
КГП – кулькова гвинтова пара
ККД – коефіцієнт корисної дії
КНБ – кубічний нітрид бору
КП – керуюча програма
ЛД – лінійний двигун
МВ – масове виробництво
МОР – мастильно-охолодна рідина
МОТЗ – мастильно-охолодні технологічні засоби
МРВ – металорізальні верстати
МСВ – малосерійне виробництво
НТМ – надтверді матеріали
ОВ – одиничне виробництво
ОЦ – оброблюючий центр
П – підсилювач
ПАР – поверхнево-активна речовина
ПК – програмоване керування
ПО – плазмова обробка
РІ – різальний інструмент
РК – різальна кромка
РО – робочий орган
САП – система автоматизованого проектування
СПО – світлопроменева обробка

ССВ – середньосерійне виробництво
 T_{ϵ} – час на власні потреби
 T_{δ} – допоміжний час
 T_o – основний час
ТО – термічна обробка
 $T_{об}$ – час обслуговування
ТП – технологічний процес
ТПВ – технологічна підготовка виробництва
ТС – твердий сплав
ТУ – технічні умови
УЗК – ультразвукові коливання
УЗО – ультразвукова обробка
УЗП – універсальний збірний пристрій
ЧПК – числове програмоване керування

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ОСНОВИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ	5
1.1. Види рухів та геометрія різального інструмента	5
1.1.2. Поверхні на оброблюваній заготовці	9
1.1.3. Поверхні на різальному інструменті	9
1.1.4. Основні види інструментів та їх геометричні параметри	10
Контрольні запитання для самоперевірки	12
1.2. Інструментальні матеріали	13
1.2.1. Вимоги до інструментальних матеріалів	13
1.2.2. Вуглецеві інструментальні сталі	14
1.2.3. Леговані інструментальні сталі	14
1.2.4. Швидкорізальні сталі	16
1.2.5. Рекомендації щодо вибору інструментальних сталей	18
1.2.6. Металокерамічні тверді сплави	19
1.2.7. Класифікація інструментальних матеріалів за міжнародним стандартом ISO 513-75	23
1.2.8. Мінералокерамічні пластини та алмази	25
Контрольні запитання для самоперевірки	26
1.3. Суть обробки матеріалів різанням	27
1.3.1. Елементи режиму різання при точінні	27
1.3.2. Основи процесу різання і стружкоутворення	28
1.3.3. Сили різання і їх розрахунок	30
1.3.4. Робота, що витрачається на процес різання	32
1.3.5. Теплові явища при різанні металів	33
1.3.6. Вплив мастильно-охолодної рідини на процес різання	34
1.3.7. Знос та стійкість різального інструменту	35
Контрольні запитання для самоперевірки	37
2. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ	38
2.1. Технологічний процес та його складові	38
2.1.1. Типи виробництв і їх характеристики	38
2.1.2. Одиничне виробництво	39
2.1.3. Серійне виробництво	40
2.1.4. Масове виробництво	41
2.1.5. Елементи технологічного процесу	42
2.1.6. Складові робочого часу і технічні норми на їх виконання	43
Контрольні запитання для самоперевірки	46
2.2. Розробка технологічного процесу механічної обробки різанням	46
Контрольні запитання для самоперевірки	51

2.3. Вибір заготовок	51
2.3.1. Загальні положення	51
2.3.2. Заготовки з прокату	51
2.3.3. Литі заготовки	56
2.3.4. Виготовлення заготовок методом пластичної деформації	60
Контрольні запитання для самоперевірки	63
2.4. Припуски на механічну обробку різанням	63
2.4.1. Припуски, допуски, їх розміщення на деталі	63
2.4.2. Розрахунково-аналітичний метод визначення припуску	66
Контрольні запитання для самоперевірки	68
2.5. Базування заготовок на металорізальних верстат	68
2.5.1. Способи установки заготовок при обробці на верстатах	68
2.5.2. Класифікація баз	70
2.5.3. Основні правила вибору технологічних баз	71
2.5.4. Базування заготовок у пристроях. Правило шести точок	72
Контрольні запитання для самоперевірки	76
2.6. Точність обробки на металорізальних верстатах	76
2.6.1. Види похибок деталей	76
2.6.2. Розрахунково-аналітичний метод дослідження точності	77
2.6.3. Дослідно-статистичний метод дослідження точності обробки	80
2.6.4. Економічна точність обробки	83
Контрольні запитання для самоперевірки	84
3. ОБРОБКА НА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ	85
3.1. Класифікація металорізальних верстатів та систем ЧПК	85
3.1.1. Класифікація металорізальних верстатів	85
3.1.2. Верстати з ЧПК	86
3.1.3. Типи систем ЧПК	87
Контрольні запитання для самоперевірки	87
3.2. Обробка на верстатах токарної групи	89
3.2.1. Обробка на токарно-гвинторізних верстатах	89
3.2.2. Обробка в центрах	95
3.2.3. Установка заготовок в патронах	98
3.2.4. Установка заготовок на оправках	101
3.2.5. Інші способи установки заготовок на токарних верстатах	104
3.2.6. Розрахунок режимів різання при точінні	105
3.2.7. Обробка на токарно-карусельних верстатах	108
3.2.8. Обробка на токарно-револьверних верстатах	109
3.2.9. Обробка на токарних одношпindelних багаторізцевих напівавтоматах	112
3.2.10. Обробка на токарних автоматах	119

3.2.11. Шляхи підвищення продуктивності праці при обробці на верстатах токарної групи	123
3.2.12. Шляхи підвищення точності обробки на токарних верстатах	124
Контрольні запитання для самоперевірки	124
3.3. Обробка на свердлильних верстатах	125
3.3.1. Класифікація верстатів	125
3.3.2. Обробка на вертикально- і радіально-свердлильних верстатах	125
3.3.3. Застосовуваний інструмент та його кріплення	126
3.3.4. Види виконуваних робіт і точність обробки	128
3.3.5. Установка і кріплення заготовок	131
3.3.6. Методи свердління	132
3.3.7. Типи кондукторних втулок	133
3.3.8. Типи кондукторних пристроїв	135
3.3.9. Розрахунок режимів різання при свердлінні	136
3.3.10. Свердління отворів на агрегатних верстатах	138
3.3.11. Способи підвищення продуктивності при свердлінні отворів	139
3.3.12. Свердління і розточування глибоких отворів	140
Контрольні запитання для самоперевірки	143
3.4. Обробка на розточувальних верстатах	143
3.4.1. Конструкції верстатів	143
3.4.2. Види робіт, виконуваних на розточувальних верстатах	146
3.4.3. Установка і кріплення заготовок на розточувальних верстатах	147
3.4.4. Застосовуваний інструмент та його кріплення	148
3.4.5. Методи розточування	150
3.4.6. Способи обробки отворів 7-9-го квалітетів точності на розточувальних верстатах	152
Контрольні запитання для самоперевірки	152
3.5. Обробка на фрезерних верстатах	152
3.5.1. Класифікація верстатів фрезерної групи і їх конструктивні особливості	152
3.5.2. Застосовуваний інструмент та його кріплення	155
3.5.3. Види виконуваних робіт	157
3.5.4. Установка і закріплення заготовок на фрезерних верстатах	162
3.5.5. Прогресивні способи фрезерування	164
3.5.6. Шляхи підвищення продуктивності праці на фрезерних верстатах	167
3.5.7. Розрахунок режимів різання при фрезеруванні	167
Контрольні запитання для самоперевірки	170
3.6. Обробка на стругальних, довбальних і протяжних верстатах	170
3.6.1. Обробка на стругальних верстатах	171
3.6.2. Обробка на протяжних верстатах	174

Контрольні запитання для самоперевірки	179
3.7. Обробка на шліфувальних верстатах	179
3.7.1. Класифікація шліфувальних верстатів	179
3.7.2. Шліфувальні інструменти	180
3.7.3. Основні види шліфувальних робіт	184
3.7.4. Зовнішнє кругле шліфування з поздовжньою подачею	185
3.7.5. Зовнішнє кругле шліфування з поперечною подачею	187
3.7.6. Зовнішнє кругле безцентрове шліфування з наскрізною подачею	187
3.7.7. Внутрішнє шліфування з поздовжньою подачею	189
3.7.8. Внутрішнє планетарне шліфування	190
3.7.9. Шліфування площин периферією круга	190
3.7.10. Шліфування площин торцем круга	191
3.7.11. Установка заготовок на плоскошліфувальних верстатах	192
3.7.12. Припуски під шліфування	192
3.7.13. Порядок визначення режимів різання	193
Контрольні запитання для самоперевірки	193
4. КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТА ІНШІ СПЕЦИФІЧНІ ВИДИ ОБРОБКИ	195
4.1. Основи конструювання пристроїв	195
4.1.1. Елементи пристроїв для обробки на МРВ	195
4.1.2. Опори	195
4.1.3. Затискні елементи	197
4.1.4. Механічні затискачі	199
4.1.5. Елементи пристроїв для виставляння і направлення інструментів	201
4.1.6. Елементи для установлення пристроїв на верстатах	201
4.1.7. Ділильні елементи і фіксатори	202
4.1.8. Корпуси пристроїв	202
4.1.9. Пристрої для обробки на верстатах з ЧПК	202
Контрольні запитання для самоперевірки	205
4.2. Завершальні види обробки	205
4.2.1 Тонке (алмазне) точіння	205
4.2.2. Хонінгування	206
4.2.3. Притирка (доводка, або лапінг-процес)	207
4.2.4. Суперфініш	208
4.2.5. Полірування	209
4.2.6. Способи завершальної обробки методом пластичної деформації	210
Контрольні запитання для самоперевірки	214
4.3. Виготовлення різьб	214
4.3.1. Методи виготовлення різьб	214
4.3.2. Нарізування різьб різцями	215
4.3.3. Нарізування багатозахідних різьб	217

4.3.4. Нарізування різьб гребінками	218
4.3.5. Нарізування різьб круглими плашками	219
4.3.6. Нарізування різьб головками, які самі розкриваються	220
4.3.7. Нарізування різьб різцевими головками, що обертаються (вихрове)	220
4.3.8. Фрезерування різьб	221
4.3.9. Нарізування внутрішніх різьб мітчиками	222
4.3.10. Накатування різьб	223
Контрольні запитання для самоперевірки	225
4.4. Нарізування зубів зубчастих коліс	225
4.4.1. Види зубчастих коліс	225
4.4.2. Методи нарізування зубів зубчастих коліс	226
4.4.3. Нарізування зубців циліндричних коліс дискових і пальцевими модульними фрезами	228
4.4.4. Нарізування зубців циліндричних коліс черв'ячними фрезами	229
4.4.5. Нарізування зубців циліндричних коліс на зубодовбальних верстатах	232
4.4.6. Нарізування зубів конічних прямозубих зубчастих коліс	234
4.4.7. Нарізування конічних коліс з криволінійними зубами за методом обкатки	236
4.4.8. Кріплення заготовок при нарізуванні зубів	237
4.4.9. Завершальні види обробки циліндричних зубчастих коліс	237
4.4.10. Шліфування зубів зубчастих коліс	239
Контрольні запитання для самоперевірки	241
4.5. Виготовлення деталей на верстатах з ЧПК	241
4.5.1. Переваги і недоліки верстатів з ЧПК	241
4.5.2. Системи координат верстатів з ЧПК	243
4.5.3. Блок–схема програмованого керування верстатом	246
4.5.4. Послідовність підготовки програми	247
4.5.5. Код ISO для програмування на верстатах з ЧПК	248
4.5.6. Верстати з ЧПК. Загальні відомості	251
4.5.7. Токарні верстати з ЧПК	251
4.5.8. Верстати з ЧПК і оброблюючі центри свердлильно-фрезерно- розточувальної групи	260
4.5.9. Розточувальні верстати з ЧПК	263
4.5.10. Розточувальні верстати з ЧПК	263
4.5.11. Фрезерні верстати з ЧПК	264
4.5.12. Оброблюючі центри	265
4.5.13. Гнучке автоматизоване виробництво	273
Контрольні запитання для самоперевірки	278

5. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ	279
5.1. Електроерозійна обробка металів	279
5.2. Розмірна електрохімічна обробка	283
5.3. Ультразвукова обробка матеріалів	286
5.4. Електронно-променева обробка матеріалів	289
5.5. Світло-променева обробка матеріалів	291
5.6. Плазмова обробка	294
5.7. Електровибухова обробка	296
5.8. Магнітоімпульсна обробка	297
Контрольні запитання для самоперевірки	299
6. ТИПОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	300
6.1. Загальні положення	300
6.2. Виготовлення корпусних деталей	300
6.3. Виготовлення валів	306
6.4. Виготовлення деталей класу “порожнисті циліндри”	309
6.5. Виготовлення деталей класу “диски”	312
6.6. Виготовлення деталей класу “некруглі стержні”	315
6.7. Складання машин та апаратів	317
6.7.1. Загальні положення процесів складання	317
6.7.2. Технологічні методи складання	319
6.7.3. Способи з’єднання деталей і вузлів	321
6.7.4. Форми організації складальних робіт	322
Контрольні запитання для самоперевірки	323
7. ТЕХНОЛОГІЯ ХІМІЧНОГО АПАРАТОБУДУВАННЯ	324
7.1. Технологія обробки листового прокату та труб	324
7.1.1. Загальні відомості	324
7.1.2. Вирубка. Утворення отворів	326
7.1.3. Гнуття та профілювання	329
7.1.4. Гнуття труб	331
7.1.5. Обладнання для гнуття	333
7.1.6. Вальцювання	335
7.1.7. Обкатка та витяжка	338
Контрольні запитання для самоперевірки	340
7.2. Зварювання машин та апаратів	341
7.2.1. Загальні положення	341
7.2.2. Види зварних з’єднань	342
7.2.3. Міцність зварних швів та шляхи її підвищення	345
7.2.4. Конструктивні та технологічні методи підвищення міцності зварних швів	346

7.2.5. Правила конструювання технологічних зварних з'єднань	348
7.2.6. Вибір баз зварювання та проставляння розмірів на кресленнях зварних заготовок та конструкцій	353
7.2.7. Вибір термічної обробки після зварювання	354
7.2.8. Умовне зображення та позначення швів зварних з'єднань	355
Контрольні запитання для самоперевірки	356
7.3. Виготовлення складальних одиниць апаратів	357
7.3.1. Виготовлення обичайок	357
7.3.2. Виготовлення днищ	359
7.3.3. Виготовлення деталей теплообмінних апаратів	361
7.3.4. Футерування апаратів листовим титаном	363
Контрольні запитання для самоперевірки	364
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	365
СКОРОЧЕННЯ	370

Електронне мережне навчальне видання

**Добрянський Станіслав Спиридонович, канд. техн. наук, доцент,
Малафєєв Юрій Михайлович, канд. техн. наук, доцент**

Технологічні основи машинобудування

Підручник

В авторській редакції

Київ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
2020